

Melampyrum arvense L. var. *arvense* L.'nin Uçucu Yağ Bileşimi, Antioksidan Aktivitesi ve Fenolik İçeriği

Azize DEMİRPOLAT^{1*}, Duygu Nur ÇOBANOĞLU², Piroz DÜZDABAN³, Dinçer ÇOBANOĞLU⁴, Muhammad ZAFAR⁵, Mustaq AHMAD⁶, Ömer KILIÇ⁷

^{1,2}Department of Crop and Animal Production, Vocational School of Food, Agriculture and Livestock, Bingol University, Bingol, Türkiye

^{3,4} Department of Bee and Bee Products, Institute of Science, Bingol University, Bingol, Türkiye

^{5,6}Department of Plant Sciences, Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan University, Pakistan

⁷Department of Basic Science of Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Adıyaman University, Adıyaman, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-7192-185X>

²<https://orcid.org/0000-0002-8583-8114>

³<https://orcid.org/0000-0002-4686-9030>

⁴<https://orcid.org/0009-0004-9511-869X>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-7440-0635>

⁶<https://orcid.org/0000-0002-0705-4322>

⁷<https://orcid.org/0000-0003-3409-1572>

*Sorumlu yazar: ademirpolat@bingol.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 06.06.2024

Kabul tarihi: 07.10.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

M. arvense var. *arvense*

Uçucu yağ

GC-MS

LC-MS/MS

Fenolik

Antioksidan

ÖZ

Bu çalışmada, *Melampyrum arvense* L. var. *arvense* L.'nin uçucu yağ bileşimi, antioksidan aktivitesi ve fenolik içeriği araştırılmıştır. *M. arvense* var. *arvense*'nin toprak üstü kısmı hidrodistile edilmiş ve %0,9 (v/w) açık sarımsı yağ verimi elde edilmiştir. Uçucu yağ bileşimi GC-MS ile analiz edilmiştir. Antioksidan aktiviteyi belirlemek için *M. arvense* var. *arvense*'nin tüm kısımlarından metanolik ekstraktlar hazırlanıp ve fenolik içerik LC-MS/MS ile tespit edilmiştir. GC/MS analizine göre, *M. arvense* var. *arvense* yağında 70 bileşik tanımlanmıştır. *M. arvense* var. *arvense*'deki başlıca bileşikler *n*-heksadekanoik asit-palmitik (%17,73), fenol, 2,4-bis (1,1-dimetiletıl) (%15,56) ve oktadekanoik asit-stearik asit (%9,96)'dir. Toplam fenolik ve flavonoid içeriği, DPPH• ve ABTS•+ süpürme aktiviteleri sırasıyla 33.5±2.6 mg GAE/g dw,, 76.5±1.1 mg QE/g dw, 21.5±2.7 mg Trolox/g dw ve 30.7±0.45 mg Trolox/g dw olarak tespit edilmiştir. *M. arvense* var. *arvense* ekstraktında, 23 fenolik bileşenden, kafeik asit, vanillin, 4-OH-benzoik asit, salisilik asit ve rutin tespit edilmiş olup, en yüksek oranda 4-OH-benzoik asit bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, *M. arvense* var. *arvense* uçucu yağında daha önce literatürde rapor edilmemiş olan yüksek seviyelerde yağ asitleri tespit edilmiştir.

Essential Oil Composition, Antioxidant Activity, and Phenolic Content of *Melampyrum Arvense* L. Var. *Arvense* L.

Research Article

Article History:

Received: 06.06.2024

Accepted: 07.10.2024

Published online: 12.03.2025

Key words:

M. arvense var. *arvense*

Essential oil

GC-MS

ABSTRACT

In this study, the essential oil composition, antioxidant activity, and phenolic content of *Melampyrum arvense* L.var. *arvense* L. were investigated. The aerial part of *M. arvense* was hydrodistilled, and a light yellowish oil yield of 0.9% (v/w) was obtained. Essential oil composition analyzed with GC-MS. Methanolic extracts were prepared from whole parts of *M. arvense* var. *arvense* to determine the antioxidant activity and phenolic content was detected with LC-MS/MS. According to GC/MS analysis, 70 compounds were identified in

the oil of *M. arvense* var. *arvense*. The major compounds in *M. arvense* var. *arvense* were *n*-hexadecanoic acid-palmitic (17.73%), phenol, 2,4-bis (1,1-dimethylethyl) (15.56%), and octadecanoic acid-stearic acid (9.96%). Total phenolic and flavonoid content, DPPH•, and ABTS•⁺ scavenging activities were 33.5±2.6 mg GAE/g dw, 76.5±1.1 mg QE/g dw, 21.5±2.7 mg Trolox/g dw, and 30.7±0.45 mg Trolox/g dw, respectively. In the extract of *M. arvense* var. *arvense*, 23 phenolic compounds were identified, including caffeic acid, vanillin, 4-hydroxybenzoic acid, salicylic acid, and rutin, with the highest amount found in 4-hydroxybenzoic acid. As a result of this study, high levels of fatty acids were detected in *M. arvense* var. *arvense* essential oil, which has not been reported in the previous literature.

To Cite: Demirpolat A., Çobanoğlu DN., Düzdaban P., Çobanoğlu D., Zafar M., Ahmad M., Kılıç Ö. *Melampyrum arvense* L. var. *arvense* L.'nin Uçucu Yağ Bileşimi, Antioksidan Aktivitesi ve Fenolik İçeriği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 490-504.

Introduction

Melampyrum genus formerly belonged to Scrophulariaceae and is now placed in the Orobanchaceae family consisting of semi-parasitic plants (Kırmızıbekmez et al., 2009). The family, formerly known as Scrophulariaceae, is not monophyletic, according to recent molecular phylogenetic analyses (Tank et al., 2006). Orobanchaceae is considered the biggest parasitic family in Angiosperms and includes organisms with a variety of parasitic lifestyles, including autotroph, hemiparasitism, and holoparasitism (Zhang et al., 2022). The *Melampyrum* genus is a family of semi-parasitic annual plants. In the Flora of Turkey, it is represented by the two species *M. arvense* and *M. pratense* (Karadağ and Tosun, 2019). There have been relatively few investigations on the chemical and pharmacological properties of the *Melampyrum* genus, in contrast to its widespread use in traditional medicine as a cardiovascular and anti-inflammatory agents, neurological diseases (Korkotian et al., 2015), anticancer (Mihoğlugil et al., 2023), rheumatic disorders, skin infection, and sedatives (Galishevskaya and Petrichenko, 2010). Due to their unique properties, these herbs are frequently used in traditional medicine as sedatives and anticonvulsants. The seeds of *Melampyrum* can be consumed by ants and small mammals, and pollinators can feed on the nectar from the blooms (Dalrymple, 2007). Natural diets rich in phenolics with antioxidant activity have sparked interest in nutrition and food science in recent decades (Lee et al., 2015). Plant secondary metabolites with an aromatic ring and at least one hydroxyl group are known as natural phenolic compounds (Tungmunnithum et al., 2018). Because their hydroxyl groups can directly contribute to antioxidant action, phenolic compounds are good electron donors (Bendary et al., 2013). Furthermore, some of them stimulate the cellular synthesis of endogenous antioxidant molecules (Côté et al., 2010). Numerous publications in the literature claim that phenolic compounds reduce the burden of oxidative disease by inhibiting free radicals, breaking down peroxides, inactivating metals, and scavenging oxygen in biological systems (Babbar et al., 2015). *Melampyrum* contains a variety of biologically active substances, including alkaloids, flavonoids, and iridoids (Korkotian et al., 2015). The flavonoids include luteolin, apigenin, quercetin, and phenol carboxylic acid derivatives (Galishevskaya and Petrichenko, 2010). *Melampyrum* extracts contain protein kinase C inhibitory, antimicrobial, antimalarial, cytotoxic, and

antiprotozoal effects, according to earlier *in vitro* investigations, and they are commonly used as animal feed (Štajner et al., 2009; Kirmizibekmez et al., 2011; Karadağ and Tosun, 2019). In contrast to the numerous articles about this genus (Háznagy-Radnai et al., 2014), little information is available on the *M. arvensis* var. *arvensis*.

In current study, it was aimed to evaluate of essential oil compositions of *M. arvensis* var. *arvensis* with GC-MS. Total phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity were detected and phenolic compounds were determined with LC-MS/MS.

Material and Methods

Plant materials

M. arvensis var. *arvensis* was collected from Bingol, steppe and rocky areas, in June 2019, 1450-1500 m., by A.D. with 3467 collected number. Plant samples were identified while comparing with the Flora of Turkey and East Aegean Islands (Davis, 1967). Voucher specimens were deposited in the Bingol University.

Gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) analysis

5 g of each plant sample were homogenized in 10 ml of hexane/isopropanol at 10.000 rpm for 30 seconds and centrifuged at 5000 rpm for 10 min. The upper part was taken and put into the test tubes by filtration. Fatty acids need to be derivatized in order to analysing by GC. Methyl esters are often preferred for derivatization. 5 ml of 2% methanolic sulfuric acid was added and vortexed. This sample was kept at 50 °C for 15 hours of methylation. After 15 hours, the tubes were removed, cooled to room temperature, and vortexed with the addition of 5 ml of 5% NaCl. The fatty acid methyl esters that had developed in the tubes were extracted with 5 ml of hexane. The hexane phase was then treated with 5 ml of 2% KHCO₃, and the phases were allowed to separate for one to two hours. Following the 45 °C under nitrogen evaporation of the mixture containing the methyl esters, the fatty acids below the test tubes were dissolved in 1 ml of hexane and then subjected to GC-MS analysis using amber GC vials. The essential oil compounds were identified using the Wiley and NIST mass spectral libraries, and the identified compounds of the essential oils are listed in Table 2. An Agilent brand 7890A/5970 C GC-MS instrument and a SGE Analytical BP× 90 100 m × 0.25 mm × 0.25 μm column were used for fatty acid analysis. The temperature program was gradually heated from 120°C to 250°C, and the total time was set to 45 minutes. The temperature program was like this: 120°C is heated up to 250°C at 5°C/min and was expected to remain at this temperature for 19 minutes. The total time was 45 minutes. The auto samplers washed in hexane five times before shrinking and after giving the collar. Injection volume was 1 μL, split ratio was 10:1, solvent delay time was 12 minutes, carrier gas was He, and H₂ flow was 35 ml/min, flow rate was 350 ml/min, N₂ was 20.227 ml/min is automatically set by the

program. The identified fatty acid compounds of the studied taxa are listed in Table 2 (Demirpolat, 2022; Akman et al., 2023).

Plant material extraction for antioxidant activity and phenolic content

The whole part of *M. arvensis* var. *arvensis* were ground with a grinder whenever samples were dried totally. The ground plant material was then weighed at 2.5 g and dissolved in 45 ml of a 90:10 methanol water (Johnson et al., 2020). The solution was kept in an ultrasonic bath at 40 °C for 1 hour. After that, centrifugation was carried out at 3500 rpm for 15 min. It was filtered via a whatman no:1 filter paper, after centrifugation. Until the experiments were conducted, the solution was kept at -20°C.

Total phenolic content analysis

The Folin-Ciocalteu method was modified to find out the total phenolic content of the plant extract as being equivalent to gallic acid (GAE) (Slinkard and Singleton, 1977). For the gallic acid calibration curve, GA standard solutions were prepared at concentrations of 500, 250, 125, 62.5, 31.25, 15.625, and 7.812 µg/ml. 0.2 N Folin-Ciocalteu (V/V) and 7.5% Na₂CO₃ (W/V) solutions were prepared. The prepared solutions were pipetted as 50 µL sample/standard, 250 µL folin, 750 µL Na₂CO₃ and 2.5 ml distilled water and kept in the dark at room temperature for two hours. Each pipetting was done in 3 repetitions. Using a spectrophotometer with a wavelength of 760 nm, absorbances were measured. The result were expressed as mg GAE/g dry weight (dw).

Total flavonoid content analysis

The total flavonoid content of the plant extract was calculated as quercetin (QE) equivalent by modifying the study of Barros et al. (2007). For the quercetin calibration curve, QE standard solutions were prepared at concentrations of 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, and 50 µg/ml. 5% NaNO₂ was prepared by dissolving in pure water, 10% AlCl₃ in MeOH, and 1 M NaOH in pure water. The prepared solutions were pipetted into the reaction tube with 100 µL sample/standard, 640 µL distilled water, 30 µL NaNO₂, 30 µL AlCl₃, 200 µL NaOH, and kept in the dark at room temperature for 40 minutes. Each pipetting procedure was repeated three times. Absorbances with a wavelength of 515 nm were recorded at the end of the experimental work. The results were calculated as mg QE/g dw from the QE standard curve.

Antioxidant activity studies

DPPH• assay

The antioxidant activity of the plant extract was evaluated using the trolox standard (Brand-Williams et al., 1995). For the calibration curve, trolox solutions were prepared at concentrations of 280, 240, 200, 160, 120, 80, and 40 µM. DPPH solution was prepared with ethanol. 100 µL sample/trolox, and

900 μ L DPPH free radical were added and vortexed. Each pipetting process was repeated three times. The prepared tubes were kept in the dark at room temperature for 50 minutes. At the end of the time, absorbances at the 517 nm wavelength were recorded. The DPPH free radical scavenging capacity value was calculated in mg TE/g dw.

ABTS \bullet^+ assay

The standard Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid) was prepared with methanol (Re et al., 1999). For the trolox calibration curve, trolox solutions were prepared at concentrations of 280, 240, 200, 160, 120–80 and 40 μ M. 7 mM ABTS and 2.54 mM $K_2S_2O_8$ (potassium persulfate) were dissolved in distilled water and kept in the dark at room temperature for at least 12 hours. The prepared ABTS stock solution was adjusted in the absorbance range of 0.75–0.80. To prepare the reaction tube, 100 μ L sample/trolox, 900 μ L ABTS radical were added and vortexed, and then each pipetting process was repeated three times. The prepared tubes were kept in the dark at room temperature for 30 minutes. At the end of the time, absorbances at the 734 nm wavelength were recorded. The total antioxidant capacity value in mg TE/g dw was obtained using the ABTS calibration graph.

Phenolic compound detection

M. arvensis var. *arvensis* extract phenolic compounds were determined by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC/MS/MS, Thermo Scientific/TSQ Quantum Access Max). A C18 column (ODS Hypersil, 4.6 ID \times 250 mm 5 m) was used to separate phenolic compounds at 30 $^{\circ}$ C with a flow rate of 0.7 ml min^{-1} . The injection volume was 20 μ L, and the analysis was performed over 20 minutes. As mobile phases, A (water containing 0.1% formic acid) and B (methanol) were employed. Starting with 100% A, the mobile phase mixture was run through the column for one minute. The gradient elution was then changed to be 5% A-95% B between minutes 1 and 22, and after minute 22, the 5% A-95% B phase was continued for an additional three minutes. The system was then set up to run from 0% A to 100% B for 25 to 30 minutes, at which point it was turned off. The capillary temperature was set at 300 $^{\circ}$ C, the vaporizer temperature at 350 $^{\circ}$ C, and the positive and negative spray voltages were set at 4000 V and 2500 V, respectively (Çobanoğlu et al., 2023). Table 1 contains the parameters for quantifying phenolic chemicals.

Table 1. Phenolic compound standard's parameters

Phenolic compounds	Rt (min)	MS [m/z]	MS /MS [m/z]	LOD (mg.l ⁻¹)	LOQ (mg.l ⁻¹)	Polarity
Gallic acid	8.92	169.7	80.50 126.20	0.061	0.203	-
Caffeic acid	15.27	179.7	135.20 136.20	0.047	0.157	-
Taxifolin	16.68	303.0	126.20 285.50	0.058	0.194	-
Protocatechuic acid	12.13	153.8	110.40 92.50	0.049	0.162	-
Protocatechuic aldehyde	13.16	136.9	92.25 108.20	0.026	0.087	-
Sesamol	12.82	137.18	109.291 108.173	0.048	0.161	-
<i>p</i> -coumaric acid	17.00	163.9	94.30 120.20	0.116	0.387	-
Catechin	10.92	289.2	203.90 245.70	0.068	0.227	-
Epicatechin	11.26	291.5	123.30 139.30	0.045	0.151	+
Rosmarinic acid	17.82	359.18	134.30 162.20	0.029	0.095	-
Vanillin	15.87	150.91	92.30 136.10	0.023	0.076	-
Ferulic acid	17.19	193.35	134.10 178.00	0.061	0.204	-
4-OH-benzoic acid	18.12	137.90	66.60 94.60	0.031	0.104	-
Salicylic acid	18.13	137.14	65.51 93.26	0.030	0.099	-
Syringic Acid	15.45	183.07	123.2 77.3	0.192	0.643	-
Ellagic acid	19.47	300.90	284.797 174.151	0.087	0.289	-
Rosmarinic acid	17.82	359.18	134.30 162.20	0.029	0.095	-
Quercetin	20.58	301.00	152.1 179.9	0.038	0.123	-
Oleuropein	18.00	539.10	275.80 377.50	0.050	0.167	-
Rutin	18.26	609.37	300.60 301.70	0.007	0.024	-
Rezveratrol	18.45	228.98	107.20 135.10	0.030	0.099	+
Flavone	23.90	222.90	77.275 121.154	0.027	0.090	+
Kaempferol	21.68	286.97 165.00	153.00	0.055	0.184	+

Table 2. Essential oils chemical composition of *M. arvensis* var. *arvensis*

No	Component	RI	RT	%
1	Methyl(2E,4E,6S)-9-(butyldimethylsiloxy)-6-ethyl-,4-nonadienoate	968	5.403	1.37
5	5-Propylnonane	985	6.192	0.75
6	Dodecane	988	6.332	2.58
8	Decane, 4-methyl	990	6.436	0.21
9	Nonadecane	994	6.623	0.67
10	Methoxyacetic acid, 3-tetradecyl eter	995	6.654	0.28
12	Tetradecane	1003	7.022	2.36
14	<i>n</i> -Dodecane	1009	7.307	0.57
15	<i>n</i> -Eicosane	1016	7.608	2.56
17	Octacosane	1033	8.366	1.10
20	Octacosane, 1-iodo-	1041	8.734	2.13
21	Eicosane	1042	8.786	1.59
22	Heneicosane	1047	9.020	2.19
25	Tricosane	1056	9.424	0.21
27	<i>n</i> -Hexadecane	1061	9.674	0.11
28	<i>n</i> -Tetracosane	1062	9.710	0.74
31	<i>n</i> -Octadecane	1066	9.881	0.93
33	Docosane, 11-decyl-	1068	9.954	0.36
34	<i>n</i> -Octadecane	1069	9.990	0.46
35	Docosane	1071	10.125	1.09
38	Pentacosane	1087	10.841	0.37
39	Tetratriacontane	1089	10.934	0.33
40	Eicosane, 1-iodo-	1092	11.085	1.06
41	Octadecane, 1-iodo-	1094	11.142	0.48
43	Benzaldehyde, 4-propyl-	1100	11.448	3.69
47	Myristic acid	1129	12.724	0.52
50	3-Ethyl-3-methylheptadecane	1143	13.368	0.31
53	Heptacosane	1152	13.804	0.11
54	Cyclotetradecane	1167	14.483	0.54

Table 2 continued.

No	Component	RI	RT	%
55	3-Heptadecanol	1174	14.810	2.48
56	Docosane	1180	15.075	0.23
57	<i>n</i>-Hexadecanoic acid-Palmitic	1183	15.225	17.73
59	Isopropyl palmitate	1190	15.537	1.89
62	Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)	1208	16.341	15.56
63	Tetracosane	1211	16.491	1.03
64	Octadecanoic acid- Stearic acid	1257	18.572	9.96
65	<i>i</i> -Propyl 16-methyl-heptadecanoate	1265	18.930	0.85
67	Linolelaidic acid(trans-9,12-omega 6)	1286	19.890	1.35
68	α - Linolelaidic acid-cis- 9,12,15	1316	21.234	1.43
69	Benzenepropanoic acid,3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy, methyl ester	1321	21.498	2.94
70	Arachidic acid C 20:0	1350	22.790	0.39

RI: Retention indices; RI: Based on retention index; MS: Based on mass spectra matching; RT: Retention time.

Table 3. Phenolic compounds of *M. arvensis* var. *arvensis*.

Phenolic compounds	$\mu\text{g/g dw}$
Gallic acid	nd*
Caffeic acid	3.45 \pm 2.3
Taxifolin	nd
Protocatechuic acid	nd
Protocatechuic aldehyde	nd
Sesamol	nd
<i>p</i> -coumaric acid	nd
Catechin	nd
Rosmarinic acid	nd
Vanillin	11.5 \pm 1.4
Ferulic acid	nd
4-OH-benzoic acid	25.3 \pm 3.2
Salicylic acid	14.4 \pm 1.8
Syringic Acid	nd
Ellagic acid	nd
Rosmarinic acid	nd
Quercetin	nd
Oleuropein	nd
Rutin	9.1 \pm 1.1
Resveratrol	nd
Flavone	nd
Kaempferol	nd

nd: not detected

Results

Essential oil composition

Qualitative and quantitative differences were noted in the GC-MS analysis of *M. arvense* var. *arvense*. The aerial part of *M. arvense* var. *arvense* was hydrodistilled, obtaining yields of 0.9 % (v/w) of light yellowish oil. In the oil of *M. arvense* var. *arvense* 70 components were identified. The major compounds were *n*-hexadecanoic acid-palmitic (17.73%), phenol, 2,4-bis (1,1-dimethylethyl) (15.56 %), and octadecanoic acid- stearic acid (9.96 %) in *M. arvense* var. *arvense*. As a result of this study, high levels of fatty acids were determined in the essential oil of *M. arvense* var. *arvense* which was not previously reported in the literature. There were 25.88% alkanes in the essential oil content. The *M. arvense* var. *arvense* essential oil was weak in monoterpenes and sesquiterpenes.

TPC, TFC, DPPH• and ABTS•⁺ analyses

Total phenolic compounds (TPC) concentration was determined 33.5 ± 2.6 mg GAE/g dw., while total flavonoid was 76.6 ± 1.1 mg QE/g dw. To compare the antioxidant capabilities of *Melampyrum arvense* var. *arvense* methanol extract, the ABTS•⁺ and DPPH•⁺ tests were carried out. Plant extract had considerable levels of DPPH•⁺ and ABTS•⁺ with 21.5 ± 2.7 mg TE/g dw and 30.7 ± 0.45 mg TE/g dw, respectively.

Phenolic Compounds

In current study, twenty three phenolic compounds were investigated in *Melampyrum arvense* var. *arvense* methanol extract (Table 3). Among them, caffeic acid, vanillin, 4-OH- benzoic acid, salicylic acid, and rutin, were detected 3.45 ± 2.3 , 11.5 ± 1.4 , 25.3 ± 3.2 , 14.4 ± 1.8 , 9.1 ± 1.1 respectively as $\mu\text{g}/100\text{g}$. Other 18 phenolic compounds weren't detected in *M. arvense* var. *arvense* extract.

Discussion

Essential oil

Specific information on the essential oil composition of *Melampyrum* species is limited, and there is no comprehensive data available. It's important to note that *Melampyrum* is a diverse genus with numerous species, and the essential oil composition can differ significantly among species or variety. Saturated fatty acids include palmitic acid, also known as *n*-hexadecanoic acid (Eastwood, 2003). In this study, *n*-hexadecanoic acid (17.73%) was recorded the highest essential oil among the all the components. Due to the harmful effects of synthetic compounds used for chemical protection, the use of substances obtained from plant sources and showing antimicrobial activity is increasing. It is well known that several fatty acids have antibacterial and antifungal effects (Agoramoorthy et al., 2007). By directly interacting with T cells, fatty acids can influence immunological responses (Leventhal et

al., 1993). Linoleic acid has an anti-inflammatory impact by reducing the generation of inflammatory mediators (Yu et al., 2002).

Another important compound identified in our research was phenol, 2, 4-bis (1, 1-dimethylethyl) (15.56%), a naturally occurring chemical, used for numerous reasons in food, medicine, and agriculture. It contains anti-inflammatory, antifungal, antibacterial, and anti-trimethyltin (TMT)-induced cognitive impairment properties in terms of medicinal properties (Choi and Lee, 2009; Kadoma et al., 2009; Malek et al., 2009; Zhou et al., 2011; Abdullah et al., 2011; Rangel-Sánchez et al., 2014; Kim et al., 2017). It has been suggested to use it in food to stop *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, and *Penicillium chrysogenum* from growing on wheat grains and fresh apple juice from browning (Suh et al., 2011; Varsha et al., 2015). In agriculture, phenol, 2, 4-bis (1, 1-dimethylethyl) was found to have allelopathic effects on the germination and seedling growth of weedy plants under soilless conditions and it has also been reported as the defense compound of avocado root which prevents the root rot caused by *Phytophthora cinnamomi* (Zhang et al., 2011; Rangel-Sánchez et al., 2014).

In the present study, it has been found that, phenol, 2,4-bis (1,1-dimethylethyl), the second major compound obtained from *M. arvense* var. *arvense*. Phenol, 2,4-bis (1,1-dimethylethyl) was found to have antioxidant effects (María Teresa et al., 2014). Phenol-2, 4-bis (1, 1-dimethylethyl) is a chemical intermediate used to synthesize other chemical intermediates and is a precursor to many complex chemicals. It is also frequently used as an antioxidant, a light or UV stabilizer, and as an antioxidant. Phenol-2,4-bis (1,1-dimethylethyl) is a naturally occurring antimicrobial molecule that can be obtained from plant, animal, and microbial metabolites (Rangel-Sánchez et al., 2014; Pawar et al., 2016; Gao et al., 2018; Karthick and Mohanraju, 2018). Some polyphenolcarboxylic acids of the iridoide, mucilage, saponins, carotenoids, and phytosterols were found in *Melampyrum bihariense* Kern. and *Melampyrum cristatum* L. (Munteanu, 2006).

Antioxidant Activity and Total Phenolic/Flavonoid Content

It is generally known that plants have bioactive compounds with antioxidant properties. Antioxidants are essential, because they scavenge free radicals that can damage cells and tissues (Gopinathan and Balasubramanian, 2021). Although there has been no detailed study on the antioxidant activity of *M. arvense*, previous studies on the antioxidant activities of other *Melampyrum* species showed similar results to those in the current study (Karadağ and Tosun, 2019).

Stajner et al. (2009) investigated the antioxidant and free radical scavenging capacities of the red and yellow forms of *Melampyrum barbatum* L. They discovered that, the red form of *Melampyrum barbatum* flowers had the best antioxidant capacity. According to a report, *Melampyrum arvense* contains phenolic compounds and has antibacterial, and antioxidant properties (Karadağ and Tosun,

2019). Háznagy-Radnai et al. (2014) determined that, the methanolic extract of *M. bihariense* showed excellent DPPH radical scavenging and free radical scavenging activities.

M. arvense var. *arvense* methanol extracts had considerable levels of antioxidant activity in the current study. Mihoğlugil et al. (2023) investigated the cytotoxicity of various Turkish plants against renal cancer cells. *Melampyrum arvense* was found to inhibit the growth of renal cancer cell lines as contains phenolic compounds. Although this study did not specifically focus on the antioxidant activity of *Melampyrum*, it provides additional evidence of the plant's potential antioxidant properties. In conclusion, *M. arvense* var. *arvense* contains phenolic and flavonoid compounds, which have antioxidant activity. The total phenolic and flavonoid contents of *Melampyrum* species vary depending on the species and the region where they grow. The antioxidant activity of *Melampyrum* species can be attributed to the presence of phenolic and flavonoid compounds.

Phenolic compounds

One of the main goals of modern pharmaceutical research is to find new drugs by screening new biologically active substances of natural origin that have been widely used for centuries in traditional medicine. The use of traditional or less well-known medicinal plants to create medications with a variety of active components and therapeutic properties is particularly interesting (Korkotian et al., 2015). A wide variety of biologically active compounds, such as flavonoids, iridoids, and alkaloids, are present *M. pratense* (Vogl et al., 2013).

Galishevskaya and Petrichenko (2010) investigated the phenolic compounds of two *Melampyrum* species, *Melampyrum pratense*, and *M. nemorosum*, growing in the Ural region. The extracts contain 23 compounds including 17 flavonoids and 6 phenolcarboxylic acids. The *Melampyrum* herb contains 9 flavonoids and 5 phenolcarboxylic acids. The study also found the presence of cinaroside, luteolin, quercetin, hyperoside, and chlorogenic, caffeic, and ferulic acids in both species. In the current study, we didn't detect quercetin, caffeic acid. The methanol extract of *M. arvense* var. *arvense* showed the highest ratio of 4-OH benzoic acid (25.3 ± 3.2 $\mu\text{g/g}$). Háznagy-Radnai et al. (2014) determined apigenin, and luteolin flavones from the methanolic extract of *Melampyrum bihariense*, as we didn't identify in *Melampyrum arvense* var. *arvense* methanol extract.

Conclusion

The essential oil composition, antioxidant activity, and phenolic content of *Melampyrum arvense* var. *arvense* may vary depending on the specific species or variety within the genus. However, it's worth noting that information on the essential oil composition and phytochemical profile of *Melampyrum* species is limited, and more research is needed to provide comprehensive data. As a result of this study, high levels of fatty acids were detected in *M. arvense* var. *arvense* oil, which has not been reported in the previous literature. Regarding antioxidant activity and phenolic content, *M. arvense*

var. *arvense* plant has shown potential as a source of natural antioxidants due to their phenolic compounds. Phenolic compounds are known for their antioxidant properties, which can help protect cells from oxidative damage. However, the specific antioxidant activity and phenolic content of *Melampyrum* species would require further scientific investigation to provide accurate and detailed information.

Statement of Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

- Abdullah ASH., Mirghani MES., Jamal P. Antibacterial activity of Malaysian mango kernel. *African Journal of Biotechnology* 2011; 10(81): 18739-18748.
- Agoramoorthy G., Chandrasekaran M., Venkatesalu V., Hsu MJ. Antibacterial and antifungal activities of fatty acid methyl esters of the blind-your-eye mangrove from India. *Brazilian Journal of Microbiology* 2007; 38: 739-742.
- Akman F., Demirpolat A., Kazachenko AS., Kazachenko AS., Issaoui N., Al-Dossary O. Molecular structure, electronic properties, reactivity (elf, lol, and fukui), and nci-rdg studies of the binary mixture of water and essential oil of *Phlomis bruguieri*. *Molecules* 2022; 28(6): 2684.
- Babbar N., Oberoi HS., Sandhu SK. Therapeutic and nutraceutical potential of bioactive compounds extracted from fruit residues. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2015; 55(3): 319-337.
- Barros L., Calhella RC., Vaz JA., Ferreira ICFR., Baptista P, Estevinho LM. Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts. *European Food Research and Technology* 2007; 225(2):151-156.
- Bendary E., Francis RR., Ali HG., Sarwat MI., El Hady S. Antioxidant and structure-activity relationships (SARs) of some phenolic and anilines compounds. *Annals of Agricultural Sciences* 2013; 58(2): 173-181.
- Brand-Williams W., Cuvelier ME., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 1995; 28(1): 25-30.
- Choi Y., Lee J. Antioxidant and antiproliferative properties of a tocotrienol-rich fraction from grape seeds. *Food Chemistry* 2009; 114(4): 1386-1390.
- Çobanoğlu DN., Şeker ME., Temizer İK., Erdoğan A. Investigation of botanical origin, phenolic compounds, carotenoids, and antioxidant properties of monofloral and multifloral bee bread.

- Chemistry & Biodiversity 2023; 20(3): 1124.
- Côté J., Caillet S., Doyon G., Sylvain JF., Lacroix M. Bioactive compounds in cranberries and their biological properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2010; 50(7): 666-679.
- Dalrymple SE. Biological flora of the British Isles: *Melampyrum sylvaticum* L. *Journal of Ecology* 2007; 95(3): 583-597.
- Demirpolat A. Chemical composition of essential oils of seven *Polygonum* species from Turkey: A chemotaxonomic approach. *Molecules* 2022; 27(24): 9053.
- Galishevskaya EE., Petrichenko VM. Phenolic compounds from two *Melampyrum* species. *Pharmaceutical Chemistry Journal* 2010; 44(9): 497-500.
- Gao H., Li P., Xu X., Zeng Q., Guan W. Research on volatile organic compounds from *Bacillus subtilis* CF-3: Biocontrol effects on fruit fungal pathogens and dynamic changes during fermentation. *Frontiers in Microbiology* 2018; 9: 309082.
- Gopinathan M., Balasubramanian M. Correlation analysis of phytochemicals and antioxidant activities of *Heliotropium indicum* L. leaves extract. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 2021; 12(8): 4386-4393.
- Háznagy-Radnai E., Wéber E., Czige S., Berkecz R., Cséd K., Hohmann J. Identification of iridoids, flavonoids and triterpenes from the methanolic extract of *Melampyrum bihariense* A. Kern. and the antioxidant activity of the extract. *Chromatographia* 2014; 77(17-18): 1153-1159.
- Johnson J., Collins T., Power A., Chandra S., Skylas D., Portman D., Panozzo J., Blanchard C., Naiker M. Antioxidative properties and macrochemical composition of five commercial mungbean varieties in Australia. *Legume Science* 2020; 2(1): 1-11.
- Kadoma Y., Ito S., Atsumi T., Fujisawa S. Mechanisms of cytotoxicity of 2- or 2,6-di-tert-butylphenols and 2-methoxyphenols in terms of inhibition rate constant and a theoretical parameter. *Chemosphere* 2009; 74(5): 626-632.
- Karadağ AE., Tosun F. In vitro antimicrobial and antioxidant activity evaluation of *Melampyrum arvense* L. var. *elatius* Boiss. and *Sedum spurium* Bieb. extracts. *Acta Pharmaceutica Scientia* 2019; 57(2): 193-201.
- Karthick P., Mohanraju R. Antimicrobial potential of epiphytic bacteria associated with seaweeds of little Andaman, India. *Frontiers in Microbiology* 2018; 9: 291712.
- Kim YH., Park SK., Hur JY., Kim YC. Purification and characterization of a major extracellular chitinase from a biocontrol bacterium, *Paenibacillus elgii* HOA73. *Plant Pathology Journal* 2017; 33(3): 318-328.
- Kirmizibekmez H., Atay I., Kaiser M., Brun R., Cartagena MM., Carballeira NM., Yesilada E, Tasdemir D. Antiprotozoal activity of *Melampyrum arvense* and its metabolites. *Phytotherapy Research* 2011; 25(1): 142-146.
- Kırmızıbekmez H., Atay İ., Kaiser M., Yeşilada E. Tasdemir D. Antiprotozoal activities of

- Melampyrum arvense* and its secondary metabolites. *Planta Medica* 2009; 75(09).
- Korkotian E., Botalova A., Odegova T., Galishevskaya E., Skryabina E., Segal M. Complex effects of aqueous extract of *Melampyrum pratense* and of its flavonoids on activity of primary cultured hippocampal neurons. *Journal of Ethnopharmacology* 2015; 163: 220-228.
- Lee YH., Choo C., Watawana MI., Jayawardena N., Waisundara VY. An appraisal of eighteen commonly consumed edible plants as functional food based on their antioxidant and starch hydrolase inhibitory activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2015; 95(14): 2956-2964.
- Leventhal LJ., Boyce EG., Zurier RB. Treatment of rheumatoid arthritis with gammalinolenic acid. *Annals of Internal Medicine* 1993; 119(9): 867-873.
- Malek SNA., Shin SK., Wahab A., Yaacob H. Cytotoxic components of *Pereskia bleo* (Kunth) DC. (Cactaceae) leaves. *Molecules* 2009; 14(5): 1713-1724.
- María Teresa RC., Rosaura VG., Elda CM., Ernesto GP. The avocado defense compound phenol-2,4-bis (1,1-dimethylethyl) is induced by arachidonic acid and acts via the inhibition of hydrogen peroxide production by pathogens. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 2014; 87: 32-41.
- Mihoğlugil F., Akalgan D., Tosun F. Cytotoxicity screening of some Turkish plants against renal cancer cells. *Journal of Research in Pharmacy* 2023; 27(2): 636-641.
- Pawar R., Mohandass C., Dastager SG., Kolekar YM., Malwankar R. Antioxidative metabolites synthesized by marine pigmented *Vibrio* sp. and its protection on oxidative deterioration of membrane lipids. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2016; 179(1): 155-167.
- Rangel-Sánchez G., Castro-Mercado E., García-Pineda E. Avocado roots treated with salicylic acid produce phenol-2,4-bis (1,1-dimethylethyl), A compound with antifungal activity. *Journal of Plant Physiology* 2014; 171(3-4): 189-198.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine* 1999; 26(9-10): 1231-1237.
- Slinkard K., Singleton VL. Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 1977; 28(1): 49-55.
- Štajner DI., Popović BM., Boža P., Kapor A. Antioxidant capacity of *Melampyrum barbatum* weed and medicinal plant. *Phytotherapy Research* 2009; 23(7): 1006-1010.
- Suh HJ., Park S., Park S. Inhibition of browning on fresh apple juices by natural phytochemicals from *Rumex crispus* L. Seed. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 2011; 54(4): 524-530.
- Tank DC., Beardsley PM., Kelchner SA., Olmstead RG. Review of the systematics of Scrophulariaceae s.l. and their current disposition. *Australian Systematic Botany* 2006; 19(4):

289-307.

- Tungmunnithum D., Thongboonyou A., Pholboon A., Yangsabai A. Flavonoids and other phenolic compounds from medicinal plants for pharmaceutical and medical aspects: an overview. *Medicines* 2018; 5(3): 93.
- Varsha KK., Devendra L., Shilpa G., Priya S., Pandey A., Nampoothiri K. M. 2,4-Di-tert-butyl phenol as the antifungal, antioxidant bioactive purified from a newly isolated *Lactococcus* sp. *International Journal of Food Microbiology* 2015; 211: 44-50.
- Vogl S., Atanasov AG., Binder M., Bulusu M., Zehl M., Fakhrudin N., Heiss EH., Picker P., Wawrosch C., Saukel J., Reznicek G., Urban E., Bochkov V., Dirsch VM., Kopp B. The Herbal Drug *Melampyrum pratense* L. (Koch): Isolation and identification of its bioactive compounds targeting mediators of inflammation. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2013; 26: 395316.
- Yu Y., Correll PH., Vanden Heuvel JP. Conjugated linoleic acid decreases production of pro-inflammatory products in macrophages: evidence for a PPAR γ -dependent mechanism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids* 2002; 1581(3): 89-99.
- Zhang C., Lin Q., Zhang J., Huang Z., Nan P., Li L., Song Z., Zhang W., Yang J., Wang Y. Comparing complete organelle genomes of holoparasitic *Christisonia kwangtungensis* (Orabanchaceae) with its close relatives: how different are they? *BMC Plant Biology* 2022; 22(1): 1-12.
- Zhang XH., Zhang EH., Lang DY. Autotoxic compounds from rhizosphere soil of *Humulus lupulus* L. extracts: identification and biological activity. *Agronomy Journal* 2011; 103(3): 695-701.
- Zhou BL., Chen ZX., Du L., Xie YH., Zhang Q, Ye XL. Allelopathy of root exudates from different resistant eggplants to *Verticillium dahliae* and the identification of allelochemicals. *African Journal of Biotechnology* 2011; 10(42): 8284-8290.

Investigation of the Total Antioxidant/oxidant Status, Total Phenolic Compounds, and Oxidative Stress Index in Sun-dried Vegetables: Example of Gaziantep, Türkiye

Haci Ahmet DEVECİ¹, Fatma Hazan DOĞAN^{2*}, Ayla DEVECİ³

¹ Gaziantep University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 27310, Gaziantep, Türkiye

² Mersin University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, Mersin, Türkiye, 33343, Mersin, Türkiye

³ Kilis 7 Aralık University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Property Protection and Security, 79000, Kilis, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-3862-1991>

²<https://orcid.org/0000-0003-2776-808X>

³<https://orcid.org/0000-0003-2574-0251>

*Corresponding author: hazanngul@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 18.07.2024

Accepted: 13.10.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Dry vegetables

Total antioxidant status

Total oxidant status

Oxidative stress index

Total phenolic compounds

ABSTRACT

Sun drying is one of the oldest methods of preserving food, including vegetables. This process reduces the moisture content of the vegetables, inhibiting the growth of microorganisms that cause spoilage and rot. This study aims to investigate the total antioxidant/oxidant status (TAS/TOS), phenolic compound, and oxidative stress index (OSI) in sun-dried vegetables (okra, peppers (hot-sweet), zucchini, and eggplant). The vegetables used were chosen randomly. The total antioxidant/oxidant status of the sun-dried vegetables prepared in methanol was analysed using a spectrophotometer and commercially available kits. Total phenolic compounds were analysed using a spectrophotometer based on the Folin-Ciocalteu reagent method. OSI represents the balance between antioxidants and oxidants in the system, with higher OSI values indicating greater oxidative stress. The total antioxidant status and phenolic compounds were highest in sun-dried okra (6.568±0.22 mmol Eq/L, 79.51±0.21 mg/g respectively). The total oxidant status was highest in sun-dried eggplant (14.645±0.24 H₂O₂/L). The oxidative stress index was highest in sun-dried zucchini (0.249±0.00 H₂O₂/L). Consequently, this study highlights the high content of antioxidants and phenols, emphasizing their potential health benefits in reducing oxidative stress. It reaffirms the value of traditional sun-drying methods in preserving the nutritional integrity of vegetables. These findings support the inclusion of sun-dried vegetables in the diet for their high nutritional value and health benefits.

Güneşte Kurutulmuş Sebzelere Total Antioksidan/Oksidan Durumun, Total Fenolik Bileşiklerin ve Oksidatif Stres İndeksinin Araştırılması: Gaziantep/Türkiye Örneği

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 18.07.2024

Kabul tarihi: 13.10.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Kurutulmuş sebzeler

Total antioksidan miktarı

Total oksidan miktarı

Oksidatif stres indeksi

Total fenolik bileşikler

ÖZ

Güneşte kurutma, sebzeler dahil olmak üzere gıdaları korumanın en eski yöntemlerinden biridir. Bu işlem, sebzelerin nem içeriğini azaltarak bozulma ve çürümeye neden olan mikroorganizmaların büyümesini engeller. Bu çalışma, güneşte kurutulmuş sebzelerde (bıyık, biber (acı-tatlı), kabak ve patlıcan) toplam antioksidan/oksidan seviyesi (TAS/TOS), fenolik bileşik ve oksidatif stres indeksini (OSİ) araştırmayı amaçlamaktadır. Kullanılan sebzeler rastgele seçilmiştir. Metanolde hazırlanan güneşte kurutulmuş sebzelerin toplam antioksidan/oksidan durumu, ticari olarak mevcut kitler ve bir spektrofotometre kullanılarak analiz edilmiştir. Toplam fenolik bileşikler, Folin-Ciocalteu reaktif metodu temel alınarak spektrofotometre yardımıyla

analiz edilmiştir. OSİ, sistemdeki antioksidanlar ve oksidanlar arasındaki dengeyi temsil eder ve daha yüksek OSİ değerleri daha fazla oksidatif stresi gösterir. Toplam antioksidan miktarı ve fenolik bileşik içeriği en yüksek güneşte kurutulmuş bamyada bulunmuştur (sırasıyla 6.568±0.22 mmol Eq/L, 79.51±0.21 mg/g). Toplam oksidan miktarı en yüksek güneşte kurutulmuş patlıcanda bulunmuştur (14.645±0.24 H₂O₂/L). Oksidatif stres indeksi en yüksek güneşte kurutulmuş kabağa aittir (0.249±0.00 H₂O₂/L). Sonuç olarak, bu çalışma, antioksidanların ve fenollerin yüksek miktarını vurgulayarak, oksidatif stresi azaltma potansiyelleri açısından olası sağlık faydalarını ortaya koymaktadır. Geleneksel güneşte kurutma yöntemlerinin sebzelerin besin bütünlüğünü korumadaki değerini yeniden teyit etmektedir. Bu bulgular, yüksek besin değeri ve sağlık faydaları nedeniyle güneşte kurutulmuş sebzelerin diyetlere dahil edilmesini desteklemektedir.

To Cite: Deveci HA., Dogan FH., Deveci A. Investigation of the Total Antioxidant/oxidant Status, Total Phenolic Compounds, and Oxidative Stress Index in Sun-dried Vegetables: Example Gaziantep/Türkiye. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 505-518.

1. Introduction

Drying has been used since ancient times to preserve fruits and vegetables. The main purpose of drying is to prepare food for consumption by ensuring the availability of food throughout the year. The traditional drying process is quite natural and simple, as it is usually done with solar energy. On the other hand, industrial drying is more complex, as a variety of equipment is used, and drying parameters are carefully studied and optimized at each stage of the process. Drying not only preserves the product but also has a beneficial effect on spices, herbs, bioactive enzymes, and nuts (Szychowski et al., 2018). The drying proceeds as follows: first, water is evaporated from the structure of the food, and then this vapor is removed from the surface of the product. Due to the loss of water in the structure of the food, the water activity decreases below the level at which microorganisms can multiply, preventing spoilage by bacteria, mold, and yeast and prolonging the shelf life of the food. The volume of the food decreases due to drying. The reduced volume of the food makes it easier to transport and store (Alcay et al., 2015). In addition, by changing the flavor and texture characteristics of food, new generations of snacks are produced that can be a healthier alternative to other commercially available products such as candy (Sehrawat et al., 2018).

In recent years, the study of the antigenotoxic effects of natural plant products has increased the importance of natural antioxidants in minimizing the genotoxic effects of physical and chemical substances on DNA. Natural antioxidants are very effective against the adverse effects of mutagenic substances to which humans are exposed (Uluman and Kilicle, 2020). Antioxidants in foods are substances that can reduce the negative effects of oxygen or nitrogen free radicals in the human body. The status of antioxidants in foods and the bioavailability of antioxidants depend on the type of food, the time of harvest, the harvesting method, the environmental conditions in which it is grown, and the storage and preparation conditions (Kasim and Kasim, 2019).

Vegetables and fruits are known as "super antioxidants" thanks to the bioactive compounds they contain (Deveci et al., 2016; Mattioli et al., 2018, Delibaş, 2022). Antioxidants have blood pressure regulating (Amponsah-Offeh, 2023), blood sugar regulating (Rajendiran, 2018), anticarcinogenic (Dixit and Pandit, 2023), autoimmune supporting (Farrokhi, 2021), antibacterial, antifungal, antiviral (Song, 2024),

cholesterol lowering, and antithrombotic effects (Amponsah-Offeh, 2023). Studies have shown that adequate consumption of fruits and vegetables plays an important role in preventing non-communicable diseases such as cardiovascular disease (Ness and Powles, 1997), cancer (Dixit and Pandit, 2023), diabetes (Rajendiran, 2018), Alzheimer's disease, and Parkinson's disease, as well as chronic diseases characterized by age-related decline in body functions (Martin et al., 2002). Vegetables and fruits are consumed fresh in the season in which they are grown, but they are also processed out of season, for example, by drying and freezing (Ulger et al., 2018). They contain bioactive substances that successfully cure a variety of diseases, especially those related to oxidative stress (Deveci et al., 2023).

Phenolic compounds contribute significantly to total water-soluble antioxidant activity are the largest group of secondary metabolites produced by plants. Flavonoids, lignin precursors, and phenolic acids are the most important phenolic compounds (Okmen et al., 2009). These compounds not only have unique sensory properties such as bitterness, astringency, color, flavor, odor, and antioxidant stability, but also various biological activities such as anticancer, anti-inflammatory, antimicrobial activities, degradation of oxidized low-density lipoprotein, and enhancement of plasmatic antioxidant capacity (Ricciutelli et al., 2017; Yu et al., 2021). Carotenoids, such as capsanthin, α - and β -carotene, and zeaxanthin, are the main contributors to these protective effects (Kaur and Kapoor, 2001). Orange sweet peppers are a rich source of zeaxanthin, violaxanthin, and β -carotene; in yellow sweet peppers, violaxanthin, antheraxanthin, lutein, and zeaxanthin are the dominant carotenoids (Pugliese et al., 2014). Fresh vegetables are known to be a natural source of antioxidants and phenolic compounds (Delibaş, 2022). However, the values of antioxidants and phenolic compounds of vegetables consumed in our country by sun drying are not known. Thus, this study aimed to determine the total antioxidant status (TAS), total oxidant status (TOS), total phenolic compounds (TPC), and oxidative stress index (OSI) of sun-dried vegetables in Türkiye.

2. Material and Methods

2.1. Production of dried vegetables

The material used was dried vegetables produced and collected in the Gaziantep province in the Southeast Anatolia region of Turkey in June-July 2023. These dried vegetables were ground into powder. The powdered dried vegetable samples were stored in dark glass bottles protected from light and moisture. According to the sample calculation carried out with the program G-power 3.1.9.2, 8 vegetable varieties were examined in each group, as 8 samples were required to achieve a margin of error of 5 at a confidence level of 95%, with $\alpha=0.05$, power=0.95, and an effect size of 0.8. Thus, 20-25 samples from each vegetable group were used. Samples selected to represent the mass were thoroughly homogenized before analysis. 10 g of homogenized vegetables were used to obtain the extracts to be used in the experiments. The procedure was performed as described by Remberg et al. (2003) and Stangeland et al. (2009).

2.2. Preparation of dried vegetable extracts

Dried vegetable samples were taken from 3 different points and extracted. The extracts obtained from the different vegetables taken from these three points were analysed separately in the spectrophotometer, and the data set was created by taking the average of the results. 10 g of dried vegetable samples (okra, sweet and hot pepper, zucchini, and eggplant) (Figure 1) stored in powder flasks were weighed, 500 mL of methanol (CH₃OH) was added, and Soxhlet extraction was performed at 60 °C for about 18 hours. The methanol was removed from the obtained extract by evaporation at 48 °C in a vacuum evaporator (Heidolph Lavorota 4000 rotary evaporator). The prepared plant extracts were stored at -18 °C until analysis (Heleno et al., 2016). A random sampling technique was employed for sample collection. Accordingly, the selection was made on the assumption that each of the dried vegetables had an equal chance of being included in the study.



Figure 1. Samples of dried vegetables

2.3. Total antioxidant/oxidant status analysis

The TAS in the extracts was analysed spectrophotometrically using the TAS Kit developed by Erel (2004) (Rel Assay Kit Diagnostics, Turkey). TAS was calculated as mmol Trolox equivalent/L. TOS in the vegetable extracts was analysed spectrophotometrically using the TOS Kit (Rel Assay Kit Diagnostics, Turkey) developed by Erel (2005). TOS was calculated as $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ equivalent/L. The OSI, expressed as a percentage of the ratio between the TOS and the TAS value, was calculated from the results. To calculate the OSI values, the mmol value was converted from the unit of the TAS result to the unit μmol of the TOS result. The percentage ratio of TOS to TAS yielded the OSI, an indicator of the degree of oxidative stress. To perform the calculation, the unit of TAS, mmol Trolox equivalent/L, was changed to μmol Trolox equivalent/L. The OSI value was calculated according to the following

formula: $OSI = [(TOS, \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ equivalent/L}) / (TAS, \mu\text{mol Trolox equivalent/L}) \times 100]$ (Eren et al., 2015; Delibaş and Kıray, 2023).

2.4. Total phenolic compounds analysis

TPC analysis was performed with a spectrophotometer using a modification of the Folin-Ciocalteu reagent method (Slinkard and Singleton, 1977). This method is because phenolic compounds dissolved in water, or organic solvents form a purple color with Folin-Ciocalteu reagent (47641, Sigma) in an alkaline environment. Since this colored compound has an absorption maximum of 760 nm, it was analysed spectrophotometrically (Epoch, Biotek, USA) at 760 nm. Gallic acid (G7384, Sigma) was used as a standard, and the TPC was calculated as mg gallic acid equivalent (GAE) g⁻¹. TPC analysis was repeated three times, and the results were averaged.

2.5. Statistical analysis

The Windows operating system-based program GraphPad Prism 9.5.0 was used for all statistical analyses of the data obtained in our studies. The distribution of the study groups was examined with the One-sample Kolmogorov-Smirnov test. Data are presented as mean±standard error of the mean (SEM), and our data were considered statistically significant if $p < 0.05$. Comparisons between groups were performed with a one-way analysis of variance (ANOVA), and Tukey's test was used as a post hoc test. Before the analysis, it was checked whether the data fulfilled the assumptions of the ANOVA. For this purpose, the equal distribution of the variances between the groups was examined in relation to the dependent variable with the Levene statistic.

3. Results

In this study, TAS/TOS, TPC content, and OSI were analyzed in a selection of sun-dried vegetables commonly consumed in the Gaziantep region of Turkey. The main objective was to evaluate how the sun-drying process affects different vegetables' antioxidant capacity, oxidant content, and phenolic content. These parameters are crucial for understanding the nutritional value and potential health benefits of sun-dried vegetables.

The results of the one-way ANOVA analysis performed to determine whether there was a statistically significant difference between the means of the measurements obtained in the study by dried vegetables are shown in table 1. It was found that TAS was highest in dried okra (6.568 ± 0.22) and lowest in dried sweet pepper (5.320 ± 0.15). TOS was highest in dried eggplant (14.645 ± 0.24) and lowest in dried sweet pepper (12.239 ± 0.24). TPC is highest in dried okra and lowest in dried hot pepper. The OSI is highest in dried zucchini (0.248 ± 0.005) and lowest in dried okra (0.212 ± 0.01) (Table 1).

Table 1. TAS, TOS, TPC, and OSI properties of drying vegetables

Vegetables	TAS ($\bar{x}\pm\text{SEM}$)	TOS ($\bar{x}\pm\text{SEM}$)	OSI ($\bar{x}\pm\text{SEM}$)	TPC ($\bar{x}\pm\text{SEM}$)
Okra	6.568 \pm 0.22 ^a	13.972 \pm 0.23 ^b	0.213 \pm 0.01 ^a	79.51 \pm 0.21 ^a
Hot pepper	5.856 \pm 0.24	14.219 \pm 0.31 ^b	0.243 \pm 0.00 ^b	68.98 \pm 0.47 ^b
Sweet pepper	5.320 \pm 0.15 ^b	12.239 \pm 0.24 ^a	0.230 \pm 0.00	74.85 \pm 0.24 ^d
Zucchini	5.734 \pm 0.21	14.271 \pm 0.23 ^b	0.249 \pm 0.00 ^b	75.16 \pm 0.32 ^d
Eggplant	6.154 \pm 0.13	14.645 \pm 0.24 ^b	0.238 \pm 0.00	72.73 \pm 0.44 ^c
	F=5.693	F=13.972	F=5.704	F=119.503
	P=0.012	P=0.000	P=0.012	P=0.000

Data are expressed as mean \pm SEM of the assays. Determinations were made in triplicate. The same superscript letters show values with statistically insignificant differences per property ($p>0.05$)

The TAS of dried okra is higher than other vegetables and significantly higher than dried sweet pepper ($p=0.008$) (Figure 2a). The TOS of dried sweet peppers is significantly lower than that of other vegetables (dried okra: $p=0.005$; dried hot pepper: $p=0.005$; dried zucchini: $p=0.001$; dried eggplant: $p=0.000$) (Figure 2b). The TPC of dried okra is significantly higher than that of other dried vegetables (dried hot pepper: $p=0.000$; dried sweet pepper: $p=0.000$; dried zucchini: $p=0.000$; dried eggplant: $p=0.000$). The TPC of dried hot pepper is significantly lower than that of other dried vegetables (dried sweet pepper: $p=0.000$; dried zucchini: $p=0.000$; dried eggplant: $p=0.011$). The TPC of dried eggplant is significantly lower than that of dried sweet pepper and dried zucchini ($p=0.000$; $p=0.004$ respectively) (Figure 2c). The OSI of dried okra is significantly lower than that of dried hot pepper and dried zucchini ($p=0.029$; $p=0.009$ respectively) (Figure 2d).

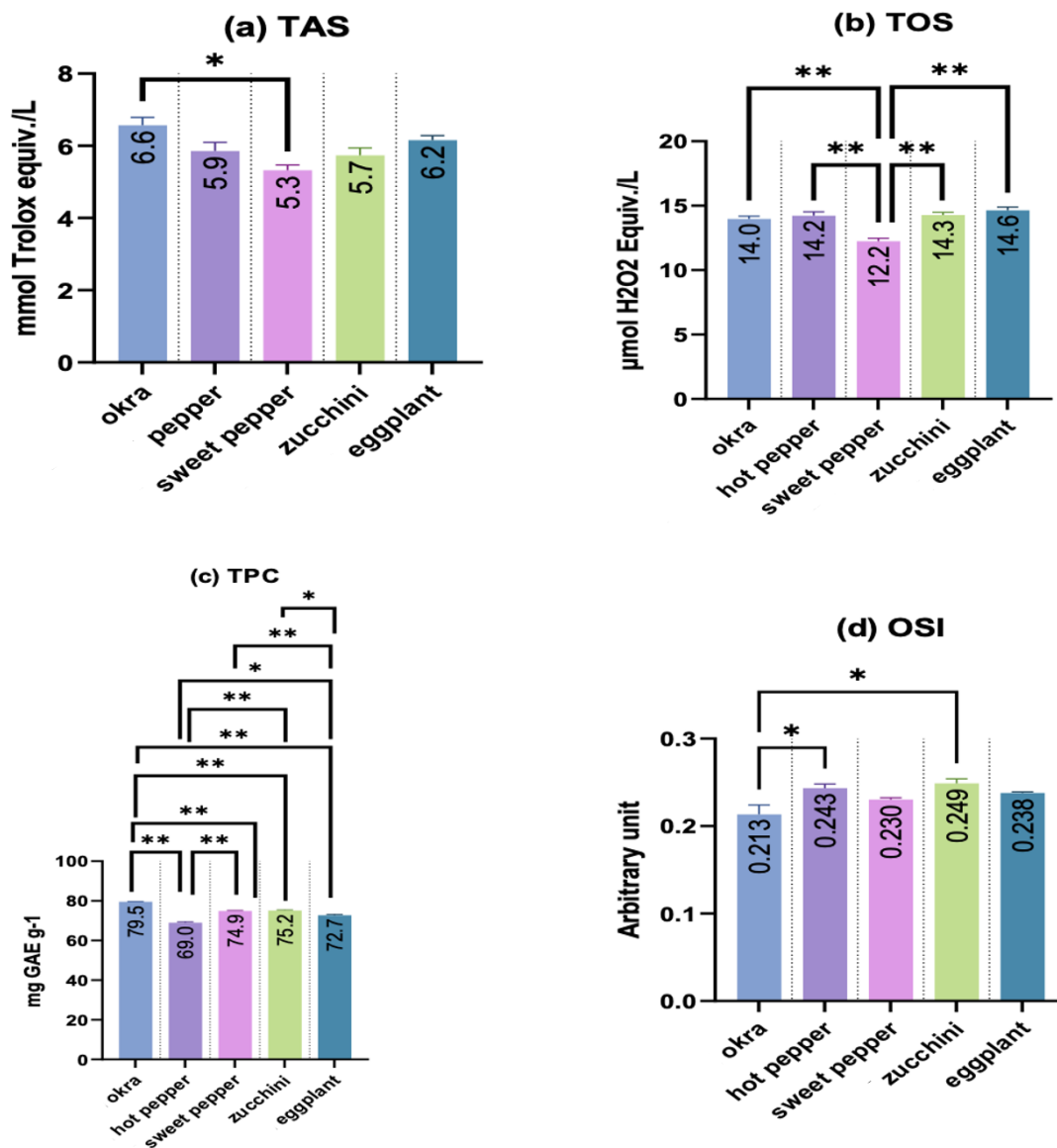


Figure 2. Properties of dried vegetables. **(a)** TAS values of dried vegetables. Data are mean±SEM (*p<0.05). **(b)** TOS values of dried vegetables. Data are mean±SEM (**p<0.01). **(c)** TPC values of dried vegetables. Data are mean±SEM (*p<0.05; **p<0.01). **(d)** OSI values of dried vegetables. Data are mean±SEM (*p<0.05).

4. Discussion

Oxidative reactions generate free radicals, initiating chain reactions that can damage cells. In contrast, antioxidants neutralize these free radicals and stop the chain reactions, thereby slowing down or preventing oxidation (Slinkard and Singleton, 1977). The role of antioxidants in mitigating oxidative damage is well documented, particularly in their potential to counteract diseases such as cancer, diabetes, and cardiovascular disease (Islam, 2019). More recent studies, such as Chaudhary et al. (2023), emphasize the complex interactions between antioxidants and free radicals, highlighting their role in both physiological processes and disease prevention. Fruits and vegetables are important sources of

antioxidants due to their high antioxidant activity and the rich mixture of antioxidant compounds (Landete, 2013). Increasing concern about the potentially carcinogenic effects of synthetic antioxidants in foods has increased interest in natural antioxidants, considered more reliable for health (Koca and Karadeniz, 2003). Antioxidant activity, a frequently studied quality parameter in dried vegetables, is primarily related to the content of vitamins and polyphenols. Although there is extensive research on various dried vegetables, okra, peppers, zucchini, and eggplant have been studied only to a limited extent (Zhang and Hamauzu, 2003; Al-Dabbas et al., 2023; Saha et al., 2023; Thanh et al., 2023). Considering the limited number of studies determining the overall status of antioxidants and oxidants in these vegetables, this study aims to make an important contribution to the literature.

Several studies have already investigated the antioxidant properties of certain vegetables. For example, Chen et al. (2015) investigated the antioxidant capacity of okra and found significant levels of phenolic compounds that contributed to its high antioxidant capacity. Xu et al. (2020) specifically investigated the antioxidant status of okra dried by different methods (freeze-drying, sun-drying, oven-drying, and microwave drying) and found high levels of antioxidants in all samples. In our study, the total antioxidant capacities of sun-dried okra were significantly higher than those of other vegetables, including hot peppers, dried zucchini and dried eggplant. These results are consistent with previous studies suggesting that the release of phenolic compounds by heat treatment could explain the increased antioxidant levels of okra (Llorach et al., 2002; Martinez-Valdivieso et al., 2017). In addition, Gemedé et al. (2015) studied the nutritional quality of okra, highlighting its high content of polyphenols and other bioactive compounds that contribute to its antioxidant effects. In addition, Shen et al. (2020) found significant antioxidant activity in different okra varieties, highlighting how both varietal differences and preservation methods can influence antioxidant content. This research supports the idea that the antioxidant properties of okra make them an important part of the diet to manage oxidative stress and prevent related diseases.

In terms of TOS, dried okra had a lower TOS than dried peppers, dried zucchini, and dried eggplant, although it was still higher than that of dried peppers. This inverse relationship between TAS and TOS is well documented, as antioxidants mitigate oxidative stress by neutralizing free radicals (Islam, 2019). Bell peppers are known for their high content of bioactive phytochemicals, especially carotenoids. Kim et al. (2006) have shown that regular consumption of peppers can reduce the risk of cancer (Dixit and Pandit, 2023), and cardiovascular disease (Ness and Powles, 1997). Our study found that TAS was higher in hot peppers than in sweet peppers, which is consistent with previous research on the high carotenoid content of hot peppers (Pugliese et al., 2014). However, genotype, ripening stage, and drying method have a significant effect on carotenoid content, suggesting that further studies are needed to fully explain the differences observed in our study. TOS content was also higher in hot peppers, which may reflect the parallel relationship between TAS and TOS observed in previous studies (Åsgård et al., 2007).

Zucchini is known for its high content of natural antioxidants, including beta-carotene, phenolic compounds, and vitamin C, all of which contribute to its high TAS value (Guzman et al., 2010). Especially the content of natural antioxidants such as beta-carotene, phenolic compounds, and vitamin C is quite high in green zucchini. However, the shelf life of zucchini is limited to 1 to 2 days because it is a vegetable that spoils quickly after being cut, losing firmness, turning brown, and rotting. Therefore, if zucchini is to be eaten fresh in season, it should be consumed immediately. If it is to be consumed out of season, various drying and freezing methods should be used for preservation (Guzman et al., 2010). The most common method for drying zucchini is sun-drying outdoors. Although this method is the most widely used, there are not enough studies on which preservation method is best in terms of its effects on the nutritional content of zucchini. In a study of fresh zucchini, it was found that both yellow and green zucchini were high in antioxidants. Active antioxidant compounds such as lutein, β -carotene, zeaxanthin, and dehydroascorbic acid in zucchini have a beneficial effect on human nutrition (Eissa et al., 2013). A recent study by Moradi et al. (2019) has also confirmed that the antioxidant properties of zucchinis may play a role in managing oxidative stress and improving blood glucose control in type 2 diabetics.

Although there is no study evaluating the antioxidant or oxidant properties of dried zucchini, our study clearly shows that the TAS of dried zucchini is high. Moreover, zucchini ranked second only to dried eggplant in TAS. It can be concluded that the antioxidant activity of the vegetable correlates with the flavonoid content. The TPC in dried okra, which has the highest antioxidant status among the vegetables studied, was also the highest (Martínez-Valdivieso et al., 2017). The vegetable with the lowest antioxidant activity is sweet pepper, while the vegetable with the lowest TPC is hot pepper. Optimal antioxidant status protects against oxidative stress, which is defined as an imbalance between free radicals and antioxidant protection. Therefore, as the TAS increases, the OSI decreases (Åsgård et al., 2007; Islam, 2019). Our study proved this. The vegetable with the highest TAS value and the lowest OSI value is dried zucchini.

Eggplants, one of the most consumed dried vegetables, are traditionally sun-dried for long-term preservation. Despite their popularity, few studies have investigated the nutritional properties of dried eggplant. Our study fills this gap and shows that eggplant has the second highest TAS value after dried okra. Interestingly, eggplant also ranked first in TOS, further emphasizing the balance between the antioxidant and oxidative properties of this vegetable.

5. Conclusions

In conclusion, this study is one of the few that analysed the biochemical content of dried vegetables. This study investigated the TAS/TOS, TPC and OSI of five different dried vegetables. It was found that all the vegetables studied had antioxidant capacity. While total antioxidant status was highest in dried okra, it was lowest in dried sweet pepper. The flavonoid content of the vegetable correlated closely with its antioxidant activity. Dried vegetables have been shown to contain antioxidants, although not as much

as fresh vegetables. To obtain more accurate results, vegetable groups and analyses must be diversified. It is thought that the promising results of this study will form the basis for further studies.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Author contributions

H.A.D. and A.D. have designed the study and collected the data. F.H.D. executed the experiment with the help by H.A.D. F.H.D. wrote the article, and critically reviewed by H.A.D. All authors accept responsibility for all content.

Funding

The authors declare that the study received no funding.

References

- Al-Dabbas MM., Moumneh M., Hamad HJ., Abughoush M., Abuawad B., Al-Nawasrah BAA., Iqbal S. Impact of processing and preservation methods and storage on total phenolics, flavonoids, and antioxidant activities of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Foods* 2023; 12(19): 3711.
- Amponsah-Offeh M., Diaba-Nuhoho P., Speier S., Morawietz H. Oxidative stress, antioxidants and hypertension. *Antioxidants* 2023; 12(2): 281.
- Alçay AÜ., Yalçın S., Bostan K., Dinçel E. Dried foods from Central Asia to Anatolia. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi* 2015; 37: 83-93.
- Åsgård R., Rytter E., Basu S., Abramsson-Zetterberg L., Möller L., Vessby B. High intake of fruit and vegetables is related to low oxidative stress and inflammation in a group of patients with type 2 diabetes. *Scandinavian Journal of Food and Nutrition* 2007; 51(4): 149-158.
- Chaudhary P., Janmeda P., Docea AO., Yeskaliyeva B., Abdull Razis AF., Modu B., Sharifi-Rad J. Oxidative stress, free radicals and antioxidants: Potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases. *Frontiers in Chemistry* 2023; 11: 1158198.
- Chen Y., Zhang BC., Sun YH., Zhang JG., Sun HJ., Wei ZJ. Physicochemical properties and adsorption of cholesterol by okra (*Abelmoschus esculentus*) powder. *Food & Function* 2015; 6(12): 3728-3736.
- Delibaş EAÖ. Seçili bazı kırmızı meyve ve sebzelerde total antioksidan-oksidan durumun ve antimikrobiyal aktivitenin incelenmesi. *TOGÜ Sağlık Bilimleri Dergisi* 2022; 2(1): 1-12.
- Delibaş EAÖ., Kıray E. Investigation of antioxidant and antimicrobial activities of walnut (*Juglans regia* L.) kernel septum. *The European Research Journal* 2023; 9(1): 87-96.
- Deveci HA., Nur G., Kırpık MA., Harmankaya A., Yıldız Y. Herbal antioxidants containing phenolic compounds. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2016; 9(1): 26-32.

- Deveci HA., Yilmaz ŞG., Deveci A. Investigation of the total phenolic compound and total antioxidant/oxidant capacity of methanol extract of *Prunus divaricata* var (Yonuz plum). *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(2): 1261-1269.
- Dixit M., Pandit A. Role of antioxidants in the prevention of cancer: a comprehensive review. *UGC CARE Journal* 2023; 48(2): 1318-1329.
- Eissa H., Barih G., Ibrahim AA., Moawad R., Ali H. The effect of different drying methods on the nutrients and non-nutrients composition of zucchini (green squash) rings. *Journal of Applied Sciences Research* 2013; 9(8): 5380-5389.
- Erel O. A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clinical Biochemistry* 2004; 37(4): 277-285. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2003.11.015>
- Erel O. A new automated colorimetric method for measuring total oxidant status. *Clinical Biochemistry* 2005; 38(12): 1103-1111. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2005.08.008>
- Eren Y., Dirik E., Neşelioğlu S., Erel Ö. Oxidative stress and decreased thiol level in patients with migraine: cross-sectional study. *Acta Neurologica Scandinavica* 2015; 115(4): 643-649. <https://doi.org/10.1007/s13760-015-0427-y>
- Farrokhi M., Rigi A., Mangouri A., Fadaei M., Shabani E., Mashouf P., Taheri F. Role of antioxidants in autoimmune diseases. *Kindle* 2021; 1(1): 1-107.
- Gemedde HF., Ratta N., Haki GD., Woldegiorgis AZ., Beyene F. Nutritional quality and health benefits of okra (*Abelmoschus esculentus*): A review. *Journal of Food Process Technology* 2015; 6(458): 2.
- Guzman I., Hamby S., Romero J., Bosland PW., O'Connell MA. Variability of carotenoid biosynthesis in orange colored *Capsicum* spp. *Plant Science* 2010; 179(1-2): 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.014>
- Heleno SA., Diz P., Prieto MA., Barros L., Rodrigues A., Barreiro MF, Ferreira ICFR. Optimization of ultrasound-assisted extraction to obtain mycosterols from *Agaricus bisporus* L. by response surface methodology and comparison with conventional Soxhlet extraction. *Food Chemistry* 2016; 197: 1054-1063. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.108>
- Islam MT. Phytochemical information and pharmacological activities of Okra (*Abelmoschus esculentus*): A literature-based review. *Phytotherapy Research* 2019; 33(1): 72-80. <https://doi.org/10.1002/ptr.6212>
- Kasım R., Kasım MU. Composition of colorful fruits and vegetables and their importance for human health. Conference: 8. International Vocational Schools Symposium, 2019.
- Kaur C., Kapoor HC. Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. *International Journal of Food Science & Technology* 2001; 36(7): 703-725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x>

- Kim SY., Jeong SM., Park WP., Nam KC., Ahn DU., Lee SC. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts. *Food Chemistry* 2006; 97(3): 472-479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.027>
- Koca N., Karadeniz F. Free radical formation mechanisms and antioxidant defense systems in the body. *Gıda Mühendisliği Dergisi* 2003; 16: 32-37.
- Landete JM. Dietary intake of natural antioxidants: vitamins and polyphenols. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2013; 53(7): 706-721. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.555018>
- Llorach R., Espin JC., Tomas-Barberan FA., Ferreres F. Artichoke (*Cynara scolymus* L.) byproducts as a potential source of health-promoting antioxidant phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002; 50(12): 3458-3464. <https://doi.org/10.1021/jf0200570>
- Martin A., Cherubini A., Andres-Lacueva C., Paniagua M., Joseph J. Effects of fruits and vegetables on levels of vitamins E and C in the brain and their association with cognitive performance. *The Journal of Nutrition, Health & Aging* 2002; 6(6): 392-404.
- Martínez-Valdivieso D., Font R., Fernández-Bedmar Z., Merinas-Amo T., Gómez P., Alonso-Moraga Á., del Río-Celestino M. Role of zucchini and its distinctive components in the modulation of degenerative processes: genotoxicity, anti-genotoxicity, cytotoxicity and apoptotic effects. *Nutrients* 2017; 9(7): 755. <https://doi.org/10.3390/nu9070755>
- Mattioli R., Mosca L., Sánchez-Lamar A., Tempera I., Hausmann R. Natural bioactive compounds acting against oxidative stress in chronic, degenerative, and infectious diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2018; 3894381. <https://doi.org/10.1155/2018/3894381>
- Moradi Z., Mehrvar M., Nazifi E. Population genetic analysis of zucchini yellow mosaic virus based on the CI gene sequence. *Journal of Cell and Molecular Research* 2019;10(2): 76-89.
- Ness AR., Powles JW. Fruit and vegetables, and cardiovascular disease: a review. *International Journal of Epidemiology* 1997; 26(1): 1-13.
- Okmen B., Sigva HO., Mutlu S., Doganlar S., Yemenicioglu A., Frary A. Total antioxidant activity and total phenolic contents in different Turkish eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties* 2009; 12(3): 616-624. <https://doi.org/10.1080/10942910801992942>
- Pugliese A., O'Callaghan Y., Tundis R., Galvin K., Menichini F., O'Brien N., Loizzo MR. *In vitro* assessment of the bioaccessibility of carotenoids from sun-dried chilli peppers. *Plant Foods for Human Nutrition* 2014; 69(1): 8-17. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0397-2>
- Rajendiran D., Packirisamy S., Gunasekaran K. A review on role of antioxidants in diabetes. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 2018; 11(2): 48-53.
- Remberg SF., Haffner K., Blomhoff R. Total antioxidant capacity and other quality criteria in blueberries cvs 'bluecrop', 'hardyblue', 'patriot', 'putte' and 'aron' after storage in cold store and controlled atmosphere. In VIII International Controlled Atmosphere Research Conference 2001; 595-598.

- Ricciutelli M., Marconi S., Boarelli MC., Caprioli G., Sagratini G., Ballini R., Fiorini D. Olive oil polyphenols: A quantitative method by high-performance liquid-chromatography-diode-array detection for their determination and the assessment of the related health claim. *Journal of Chromatography* 2017; 1481: 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.12.020>
- Saha P., Singh J., Bhanushree N., Harisha SM., Tomar BS., Rathinasabapathi B. Eggplant (*Solanum melongena* L.) nutritional and health promoting phytochemicals. In *Compendium of Crop Genome Designing for Nutraceuticals* 2023; 1-32.
- Sehrawat R., Nema PK., Kaur BP. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air-drying methods. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 2018; 92: 548-555. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.012>
- Shen DD., Li X., Qin YL., Li MT., Han QH., Zhou J., Wu DT. Physicochemical properties, phenolic profiles, antioxidant capacities, and inhibitory effects on digestive enzymes of okra (*Abelmoschus esculentus*) fruit at different maturation stages. *Journal of Food Science and Technology* 2019; 56: 1275-1286.
- Slinkard K., Singleton VL. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 1977; 28(1): 49-55. <https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49>
- Song X. Antibacterial, antifungal, and antiviral bioactive compounds from natural products. *Molecules* 2024; 29(4): 825.
- Stangeland T., Remberg SF., Lye KA. Total antioxidant activity in 35 Ugandan fruits and vegetables. *Food Chemistry* 2009; 113(1): 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.026>
- Szychowski PJ., Lech K., Sendra-Nadal E., Hernández F., Figiel A., Wojdyło A., Carbonell-Barrachina ÁA. Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry* 2018; 255: 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.075>
- Thanh NC., Eed EM., Elfakhany A., Brindhadevi K. Antioxidant, anti-inflammatory and anti-proliferative activities of green and yellow zucchini (*Courgette*). *Applied Nanoscience* 2023; 13(3): 2251-2260.
- Ulger TG., Songur AN., Çırak O., Çakiroğlu FP. Role of vegetables in human nutrition and disease prevention. *Vegetables-Importance of Quality Vegetables to Human Health* 2018; 7-32. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77038>
- Uluman E., Kilicle PA. The investigation of the possible antigenotoxic in vivo effects of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract on mitomycin-C genotoxicity. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences* 2020; 44(2): 382-390. <https://doi.org/10.3906/vet-1911-79>

- Xu K., Martinez MM., Yang B., Guo M. Fine structure, physicochemical and antioxidant properties of LM-pectins from okra pods dried under different techniques. *Carbohydrate Polymers* 2020; 241: 116272. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116272>
- Yu X., Yu L., Ma F., Li P. Quantification of phenolic compounds in vegetable oils by mixed-mode solid-phase extraction isotope chemical labeling coupled with UHPLC-MS/MS. *Food Chemistry* 2021; 334: 127572. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127572>
- Zhang D., Hamazu Y. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. *Journal of Food Agriculture and Environment* 2003; 1(2): 22-27.

Grafen Oksit Katkılı Sentetik ve Doğal Polimer Tabanlı İlaç Taşıma Sistemlerinin Üretilmesi ve Karakterizasyonu

Fatma Nur DUVARCI¹, Mehmet Can ÇELİK², Muhammet Can YÜCE³, Şükran Melda ESKİTOROS-TOĞAY^{4*}

^{1,2,3,4}Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Sağlık Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Programı, 06010, Ankara

¹<https://orcid.org/0009-0004-5089-8741>

²<https://orcid.org/0009-0003-8725-8214>

³<https://orcid.org/0009-0004-4353-0826>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-7473-8417>

*Sorumlu yazar: melda.togay@sbu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 05.08.2024

Kabul tarihi: 17.11.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Grafen oksit

Polikaprolakton

Kitosan

Film

İlaç taşıma sistemi

ÖZ

Son yıllarda, kullanılan ilaçların yarattığı yan etkileri ortadan kaldıracak ve terapötik etkiyi arttıracak yeni ilaç taşıma sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Grafenin en iyi bilinen türevi olan grafen oksit (GO) katkılı polimerik nanokompozit filmler, kimyasal ve mekanik olarak kararlı olmaları, iyi biyoyumluluk göstermeleri ve yüksek antimikrobiyal potansiyel sunmaları sayesinde ilaç taşıma sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Doğal, yarı kristalin katyonik bir polisakarit olan kitosan (CTS), doku mühendisliği ve ilaç taşıma sistemlerinde de yaygın uygulama alanı bulmuştur. Diğer yandan, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyoyumlu yarı kristalin, doğrusal alifatik bir polyester olan polikaprolakton (PCL)'nin ise biyolojik olarak parçalanabilen ambalajlama, ilaç taşıma ve doku mühendisliği gibi alanlarda potansiyel uygulamaları mevcuttur. Bu çalışmada, öncelikle grafitten grafen oksit, modifiye Hummers yöntemi ile sentezlenmiştir. Daha sonra, CTS ve PCL polimerlerine sentezlenen GO eklenerek çözelti döküm yöntemi ile biyomalzemeler üretilmiştir. İlaç taşıma sistemi olarak değerlendirilecek olan bu biyomalzemelerin morfolojik ve fizikokimyasal özellikleri, atomik kuvvet mikroskobu (AFM), X ışını difraktometresi (XRD), Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve temas açısı analizleri ile karakterize edilmiştir. FTIR analiz sonuçlarında, saf polimerlerin ve GO'nun spesifik pikleri gözlenmiştir. AFM analizi ile yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde saf PCL ve saf CTS filmlerine GO eklenmesiyle yüzey pürüzlülüklerinde artış gözlenmiştir. Üretilen filmlerin yüzey pürüzlülükleri karşılaştırıldığında, PCL'ye GO katılması ile yüzey pürüzlülüğü yaklaşık %124 oranında artmıştır. Temas açısı sonuçları karşılaştırıldığında ise GO'nun katılması ile PCL ve CTS polimer filmlerin temas açısı değerinde sırasıyla yaklaşık %9 ve %14 oranlarında düşme gözlenmiştir. Sonuç olarak, doğal ve sentetik polimerlere GO katılması ile elde edilen biyomalzemelerin ilaç taşıma sistemi olarak saf polimerlerden üretilen malzemelere göre daha avantajlı olacağı görülmüştür.

Fabrication and Characterization of Graphene Oxide Doped Synthetic and Natural Polymer Based Drug Delivery Systems

Research Article

Article History:

Received: 05.08.2024

Accepted: 17.11.2024

Published online: 12.03.2025

ABSTRACT

In recent years, studies on the development of new drug delivery systems that will eliminate the side effects of the drugs used and increase the therapeutic effect have accelerated. Graphene oxide (GO) doped polymeric nanocomposite films, the best-known derivative of graphene, are frequently

Keywords:

Graphene oxide
Polycaprolactone
Chitosan
Film
Drug delivery system

used in drug delivery systems due to their chemical and mechanical stability, good biocompatibility and high antimicrobial potential. Chitosan (CTS), a naturally semi-crystalline cationic polysaccharide, has also found widespread application in tissue engineering and drug delivery systems. On the other hand, polycaprolactone (PCL), a biodegradable and biocompatible semi-crystalline linear aliphatic polyester, has potential applications in biodegradable packaging, drug delivery and tissue engineering. In this study, graphene oxide was first synthesized from graphite by the modified Hummers method. Then, biomaterials were produced by solution casting method by adding synthesized GO to CTS and PCL polymers. The morphological and physicochemical properties of these biomaterials, which will be evaluated as drug delivery systems, were characterized by atomic force microscopy (AFM), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and contact angle analysis. In the results of FTIR analysis, specific peaks of pure polymers and GO were observed. When surface roughness was examined by AFM analysis, an increase in surface roughness was observed with the addition of GO to pure PCL and pure CTS films. When the surface roughnesses of the produced films were compared, the surface roughness increased by approximately 124% with the addition of GO to PCL. When the results of contact angles were compared, it was observed that the contact angle values of PCL and CTS polymer films decreased by approximately 9% and 14%, respectively, with the addition of GO. As a result, it was seen that the biomaterials obtained by adding GO to natural and synthetic polymers would be more advantageous than the materials produced from pure polymers as a drug delivery system.

To Cite: Duvarcı FN., Çelik MC., Yüce MC., Eskitoros Togay ŞM. Grafen Oksit Katkılı Sentetik ve Doğal Polimer Tabanlı İlaç Taşıma Sistemlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 519-532.

1. Giriş

Gelişmiş üretim teknikleri ve malzemeler ile yeni ilaç taşıma sistemlerinin geliştirilmesi, farmasötik alanda yapılan araştırmalarda büyük ilgi görmektedir. Bu yeni ilaç taşıma sistemleri, ilaç uygulamasının etkinliğini ve güvenliğini artırmada, hedefli/kontrollü ilaç salımını sağlamada ve terapötik ajanların yüksek biyoyararlanımını sunmada önemli bir rol oynamaktadır (Bulbul ve Oksuz, 2024).

Birçok faydalı ilaç, doğası gereği hidrofobik yapıdadır ve sulu bir ortamda çözünmesi zordur. Bu nedenle geleneksel taşıma stratejileri ile kullanılmaları için uygun bir farmasötik format elde etmek zorlaşmaktadır. Bu gibi zorlukların üstesinden gelmek amacıyla (Yang ve Pierstorff, 2012) yeni nesil sistemler arasında yer alan polimer bazlı ilaç taşıma sistemleri (Tian ve Liu, 2023) geliştirilmekte ve hastalıkların tedavisinde potansiyel çözümlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Liu ve ark., 2022).

Polimer bazlı yeni nesil ilaç taşıma sistemlerinde, biyolojik olarak parçalanabilir ve emilebilir özelliklere sahip hem sentetik hem de doğal polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyolojik olarak parçalanabilen ve biyolojik olarak emilebilen polimerler, hedef ilacın vücudun bölgelerine iletilmesi için güvenli bir çerçeve sağlayarak birçok yeni ilaç taşıma sistemi için iyi bir seçim olarak görülmektedir (Sung ve Kim, 2020). Polietilen glikol (PEG), polivinil pirolidon (PVP), polilaktik asit (PLA), polihidroksialkanoatlar (PHA), poli (l-glutamik asit), polikaprolakton (PCL), guar sakızı, kitin, kitosan (CTS), selüloz, jelatin vb. (Bari ve ark., 2016) yaygın olarak bu sistemlerde kullanılan sentetik ve doğal polimerler arasında bulunmaktadır.

Biyolojik olarak parçalanabilen ve toksik olmayan bir polimer olan PCL (Köroğlu ve ark., 2024), biyoyuumluluğu, kolay işlenebilirliği ve kalıcı bozunabilirliği sayesinde doku mühendisliği

uygulamalarında ve yara örtüsü malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Eskitoros-Togay ve ark., 2024). Özellikle fizyolojik koşullarda ester bağlantılarının hidrolizi ile parçalanabilmesi ilaç taşıma sistemlerinde tercih edilme sebebi olmaktadır (Eskitoros-Togay ve ark., 2020-b). Bununla birlikte, PCL'nin zayıf mekanik özellikleri, düşük hidrofiliği (Eskitoros-Togay ve ark., 2020-a) ve düşük antibakteriyel aktiviteye sahip olması bu uygulamalarındaki kullanımını kısıtlamaktadır. Diğer yandan, kitosan (CTS), rastgele dağılmış β -(1-4)-bağlı D-glukozamin ve glikozit bağlantısıyla birleştirilmiş N-asetil-D-glukozamin birimlerinden oluşan kısmi deasetilasyonlu bir tür doğrusal biyopolimerdir. Bu doğal polimer, kitinin deasetilasyonundan elde edilir ve doğada en bol bulunan biyopolimerlerden biridir (Wani ve ark., 2023). İhmal edilebilir toksisitesi ve biyolojik olarak parçalanabilirliği sayesinde kitosan, ilaç endüstrisinde önemli bir uygulama alanı bulmuş (Hamedı ve ark., 2022) ve biyo-yapıştırıcılar, ilaç taşıma sistemleri, yara örtüleri, hemostatik ve sütürsüz cerrahi gibi çeşitli biyomedikal uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır (Hamedı ve ark., 2022).

Mevcut birçok polimer bazlı ilaç taşıma sistemleri, ilacın uzun süreli kan dolaşımında kalması ve ilacın iyi çözünmesini sağlaması gibi bazı avantajlar göstermiş olsalar da sınırlı yükleme kapasitesi ve düşük derecede işlevselleştirme kabiliyetinden dolayı tümör bölgelerinde yüksek hedefli konsantrasyon ve etkinlik sağlayamayabilirler. Ayrıca yetersiz hücre tutunması ile anti-tümör ilacın terapötik etkinliği daha da azalmakta ve normal dokularda spesifik olmayan birikim gelişerek ciddi yan etkilere yol açmaktadırlar. Bu nedenle, anti-tümör ilaçlarının özel hücresel alımını artırma ve akıllı/kontrollü salımını gerçekleştirme yeteneğine sahip verimli polimer bazlı ilaç taşıma sistemlerinin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu kapsamda iyi bilinen yöntemlerden biri de nano taşıyıcıların (grafen ve grafen oksit (GO) vb.) polimer bazlı ilaç taşıma sistemlerine dahil edilmesidir (Liu ve ark., 2013).

Grafen bazlı malzemeler, biyoyumluluk özellikleri ve biyomoleküllerle işlevselleştirilme kolaylıkları nedeniyle polimer bazlı ilaç taşıma sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir role sahiptir (Oliveira ve ark., 2022). Grafen, altıgen bir kafes yapısında organize edilmiş, tek bir atom kalınlığında tabakalar oluşturan aromatik karbon atomlarının (sp^2 -bağlı)/kovalent bağlı bir tek katmanından oluşan iki boyutlu bir bileşiktir (Huang ve ark., 2012). İyi mekanik özelliklere, geniş yüzey alanına ve yüksek elektrik ve termal iletkenliklere sahiptir. Grafen oksit (GO) ve indirgenmiş grafen oksit (rGO) gibi daha hidrofilik olan, sulu veya polielektrolit çözeltilerde çözünmelerini ve dağılmalarını kolaylaştıran ve dolayısıyla kendi kendine birleşme özelliklerini geliştiren başka formlarda da bulunabilir (Oliveira ve ark., 2022).

Bunlar arasında grafenin en yaygın türevi olan grafen oksit (GO), biyomedikal alanda yoğun olarak araştırılan bir diğer malzemedir (Das ve Raj, 2024). GO, iki boyutlu tek atomlu karbon allotropudur (Olenych ve ark., 2016). Epoksi, hidroksil ve karboksil grupları gibi çok sayıda fonksiyonel grup içerir (Ghawanmeh ve ark., 2019). GO, geniş bir spesifik yüzey alanına ve π -konjuge bir yapıya sahiptir. Nano-yapraklarının bazal düzleminde ve kenarlarında reaktif fonksiyonel grupların varlığı, hedeflenen ilaç taşımada kullanım için parçacıkları kovalent olarak değiştirme fırsatı yaratırken, nano-tabaka yüzeyinde lokalize π -elektronların bolluğu, aromatik ilaçla π - π etkileşimlerini mümkün kılmaktadır (Mianehrow ve ark., 2015). Yapılan literatür araştırmalarında, GO'nun hedeflenen ilacın istenen

bölgeye taşınmasını sağlamak amacıyla ilaç taşıma sistemlerinde kullanıldığı görülmektedir (Yang ve ark., 2013). GO'nun kitosan ve PCL matrislerine eklenmesiyle polimerlerin özelliklerinin iyileştirildiği gösterilmiştir (Sahafnejad-Mohammadi ve ark., 2023). Ek olarak, GO'nun sahip olduğu bu özellikleri sayesinde ilaçların GO ile işlevselleştirilmesi, yapısal değişikliklere yol açarak bu ilaçların biyodağılımını ve yükleme kapasitesini arttırmakta ve vasküler dolaşım süresini uzatmaktadır. Böylece daha etkili bir taşıma olanağı sağlamış olur (Deb ve Vimala, 2018).

Bu bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı; ilaç taşıma sistemi olarak kullanılabilir grafen oksit katkılı polikaprolakton ve kitosan (PCL/GO ve CTS/GO) nanokompozit malzemelerinin üretilmesi ve karakterizasyonun yapılmasıdır. Bu kapsamda öncelikle modifiye Hummers yöntemi ile grafitten grafen oksit sentezlenmiştir. Daha sonra yapılan ön çalışmalar ile belirlenen oranda GO'nun polimer matrislerine eklenmesi ve nanokompozit film malzemelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Tüm kimyasallar Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, ABD) satın alınmıştır: polikaprolakton (PCL, molekül ağırlığı 80 kDa), kitosan (CTS, yüksek molekül ağırlığı, deasetilasyon derecesi >%75), kloroform (HPLC için uygun, \geq %99,9), N, N-dimetilformamid (DMF, HPLC için uygun, \geq %99,9), grafit tozu (G, <45 μ m partikül boyutu, \geq %99,9), potasyum permanganat (KMnO_4 , \geq %99), sülfürik asit (H_2SO_4 , ACS reaktifi, \geq %98), hidroklorik asit (HCl, ACS reaktifi, %37), hidrojen peroksit (H_2O_2 , ACS reaktifi, %30) ve ethanol (EtOH, ACS reaktifi, %70).

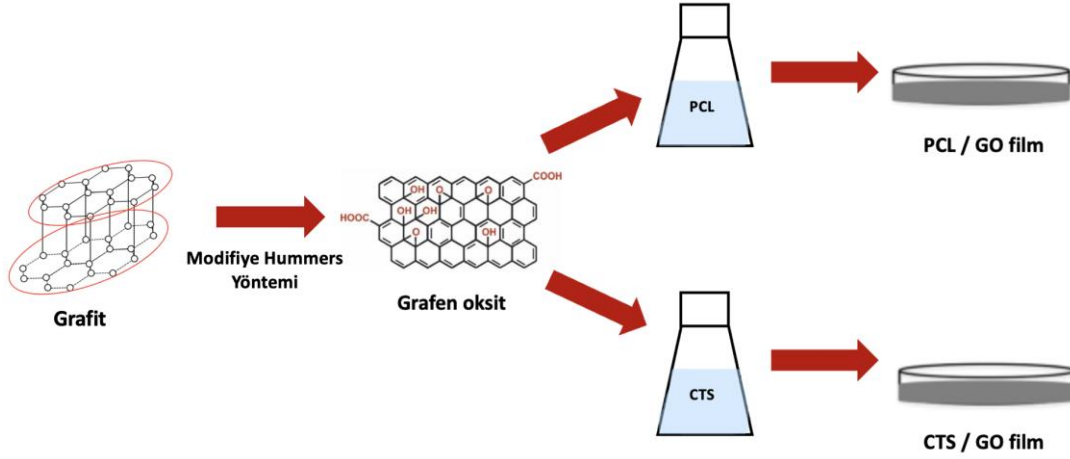
2.2. Grafen Oksit Sentezi

Grafen oksit, modifiye Hummers yöntemi ile sentezlenmiştir (Hummer ve Offeman, 1958; Eskitoros-Togay ve ark., 2023). 3 g grafit tozu, buzlu su banyosunda 70 mL H_2SO_4 içerisinde 2 saat karıştırıldıktan sonra 9 g KMnO_4 yavaş yavaş karışıma ilave edilmiştir. Daha sonra karışım sıcak su banyosu kullanılarak 40 °C'ye ısıtılmış ve 2 saat karıştırılmıştır. Karışım macun kıvamına gelince 400 mL deiyonize su yavaş yavaş ilave edilmiş ve 3 saat daha karıştırılmıştır. Daha sonra karışım, 30 dakika boyunca 90 °C'de karıştırılmıştır. Ardından oda sıcaklığına soğutulduktan sonra oksidasyonu durdurmak için karışıma 15 mL H_2O_2 ilave edilmiştir. Karışım, 7000 rpm'de 30 dakika santrifüjlenmiş ve üstündeki sıvı kısım dökülmüştür. Dipte kalan kısım ise, HCl ve deiyonize su ile yıkanarak pH'ı nötralize edilmiştir. Son olarak, GO, etüvde 55-60 °C' de 24 saat boyunca kurutulmuştur. GO sentezlenmesi ile yüzeyde oluşması beklenen hidroksil ve karboksil grupları X-Işını difraktometresi (XRD) analizi ile tespit edilmiştir.

2.3. İlaç Taşıma Sistemlerinin Üretilmesi

Saf polimer filmlerden ilk olarak polikaprolakton (PCL) filmi için PCL çözeltisi hazırlanırken ağırlıkça %5'lik PCL, 10 mL'lik kloroform içerisinde eklenmiş ve manyetik karıştırıcıda tamamen çözünene kadar

karıştırılmıştır (Eskitoros-Togay ve ark., 2023). Saf kitosan (CTS) filmi için kullanılacak çözelti ise %2'lik CTS olacak şekilde hacimce (1:9) oranında 10 mL'lik asetik asit ve damıtılmış su karışımında manyetik karıştırıcı kullanarak karıştırılmıştır. PCL/GO ve CTS/GO nanokompozit malzemelerin hazırlanmasında ise %1 oranında GO, ayrı ayrı PCL ve CTS çözeltilerine eklenmiş, önce en az 1 saat kadar ultrasonik karıştırıcıda ardından da manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır (Eskitoros-Togay ve ark., 2023; Eskitoros-Togay, 2024). Hazırlanan PCL, CTS, PCL/GO ve CTS/GO çözeltileri ayrı ayrı petri kaplarına dökülerek oda sıcaklığında 2 gün boyunca kurumaya bırakılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Grafen oksit katkılı polimer tabanlı filmlerin üretim şeması (Li ve ark., 2014)

2.4. Karakterizasyon Çalışmaları

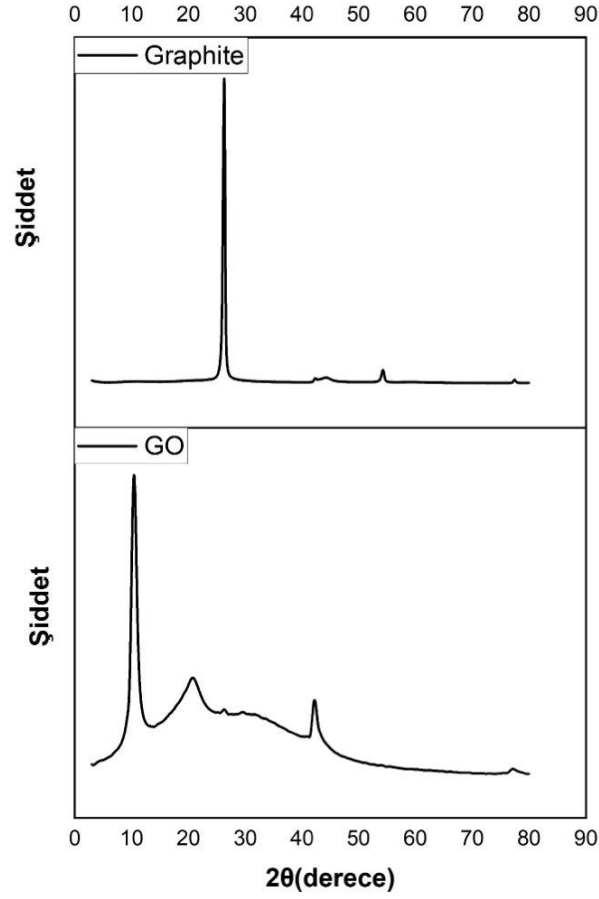
Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi spektrumları, 4000-500 cm^{-1} aralığındaki dalga sayısı spektrumunda ve 4 cm^{-1} çözünürlükte Thermo Fisher Scientific, Inc., (Waltham, MA, ABD) marka Nicolet Avatar 370 Spektrometre cihazı ile çalışılarak elde edilmiştir. Kırınım desenleri, 25 °C'de, 2 θ açısı değeri 5 ile 80° aralığında, 40 kV ve 30 mA parametrelerinde, 1°/s tarama hızıyla APD 2000 PRO X-ışını difraktometre cihazı (GMR, USA) kullanılarak elde edilmiştir. Malzemenin ıslanabilirlik özelliği (yüzey hidrofiliği veya hidrofobikliği), 25 °C'de deiyonize su kullanılarak sessile drop metodu ile Krüss DSA 100 (Almanya) marka cihazda analiz edilmiştir. Yüzey topografisi, 25 °C'de, 0,5 Hz tarama hızında ve 25 x 25 μm^2 alanında XE-100 Park Systems Corp. (Suwon, Kore) marka atomik kuvvet mikroskobu (AFM) cihazı ile SmartScan programı kullanılarak elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Grafitten grafen oksit sentezi

Bu çalışmada ilk olarak grafit ve sentezlenen grafen oksit (GO), XRD analizi ile karakterize edilmiş ve Şekil 2'de grafit ve GO'ya ait kırınım desenleri verilmiştir. Grafit için karakteristik pik 2 θ =26,28°'de elde edilmiştir. Ancak oksidasyondan sonra bu pik kaybolmuş ve grafen oksit için 2 θ =10,38°'de yeni bir pik gözlenmiştir. Düzlemler arasındaki mesafe grafit ve grafen oksit için sırasıyla 0,337 nm ve 0,830 nm olarak bulunmuştur. Daha önceki bir çalışmada rapor edildiği üzere, grafit ve grafen oksit için

karakteristik pik değerleri sırasıyla $26,56^\circ$ ve $10,24^\circ$ 'de elde edilmiş ve düzlemler arası mesafe sırasıyla 0,334 ve 0,800 nm olarak bulunmuştur (Ban ve ark., 2012).



Şekil 2. Grafit ve grafen oksidin XRD analiz sonucu

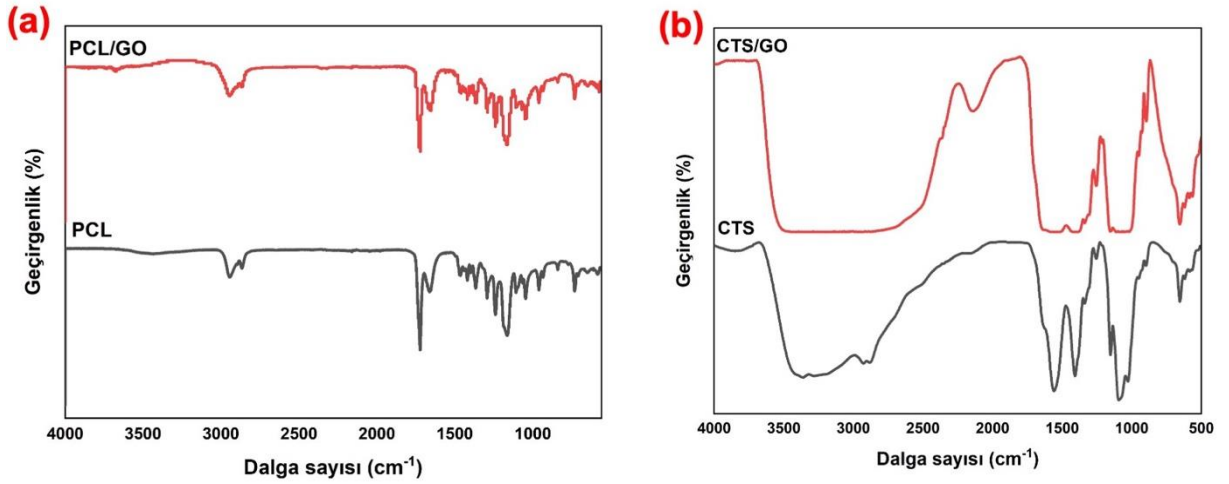
3.2. İlaç taşıma sistemlerinin üretilmesi ve karakterizasyon çalışmaları

İkinci adımda saf polimer ve GO katkılı polimer bazlı ilaç taşıma sistemleri üretilmiş ve karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. FTIR analizi

Saf ve GO katkılı sentetik ve doğal polimerlerden elde edilen ilaç taşıma sistemlerinin FTIR spektrumları Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3(a)'da yer alan PCL filminin FTIR spektrumunda, $1000-1100\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pik güçlü C-O gerilme titreşimini gösterirken, $2900-3000\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pik O-H gerilmesini tanımlamaktadır. $1700-1750\text{ cm}^{-1}$ 'deki karakteristik pik -COOH gerilme titreşimini gösterirken, $2850-2950\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bantlar ise PCL'deki -CH₂ grubunun gerilme titreşimini göstermektedir (Eskitoros-Togay ve ark., 2020-a). Literatürde GO'nun karakteristik pikleri, 3410 cm^{-1} de O-H grubuna ait geniş bir pik, 1730 cm^{-1} de güçlü C=O piki, 1220 cm^{-1} de C-OH gerilmesi ve 1055 cm^{-1} de C=O germe piki dahil olmak üzere farklı oksijen işlevsellikleri ile ilişkilidir (Li ve ark., 2012). Grafitik alanlardan gelen C=C titreşimleri 1625 cm^{-1} de gözlenmektedir (Ordikhani ve ark., 2015).

PCL/GO filminin FTIR spektrumunda, 1700 cm^{-1} 'deki pik amid grubunun C=O gerilme titreşimi ve 1500 cm^{-1} 'deki pik ise GO'da bulunan (C=C) alken grubu gerilme titreşimi için atanmıştır. 1700 cm^{-1} 'de meydana gelen pik, PCL ve GO arasında fonksiyonel grup düzeyinde sinerjiye işaret etmektedir (Malik, 2022). Saf PCL'den kaynaklanan 1472 cm^{-1} (C-H bükülme) ve 732 cm^{-1} (CH_2 bükülme) dalga sayılarına denk gelen titreşim bantları PCL/GO filminin FTIR spektrumunda şiddet azalmasına uğradığı belirlenmiştir (Mindivan ve Göktaş, 2024). 1366 cm^{-1} (C-H) dalga sayısına ait bant şiddeti ise saf PCL filmi ile karşılaştırıldığında belirgin bir değişme gözlenmemiştir. Bu çalışmada tüm fonksiyonel gruplara ait FTIR bantları PCL ve GO yapısını doğrulamıştır.



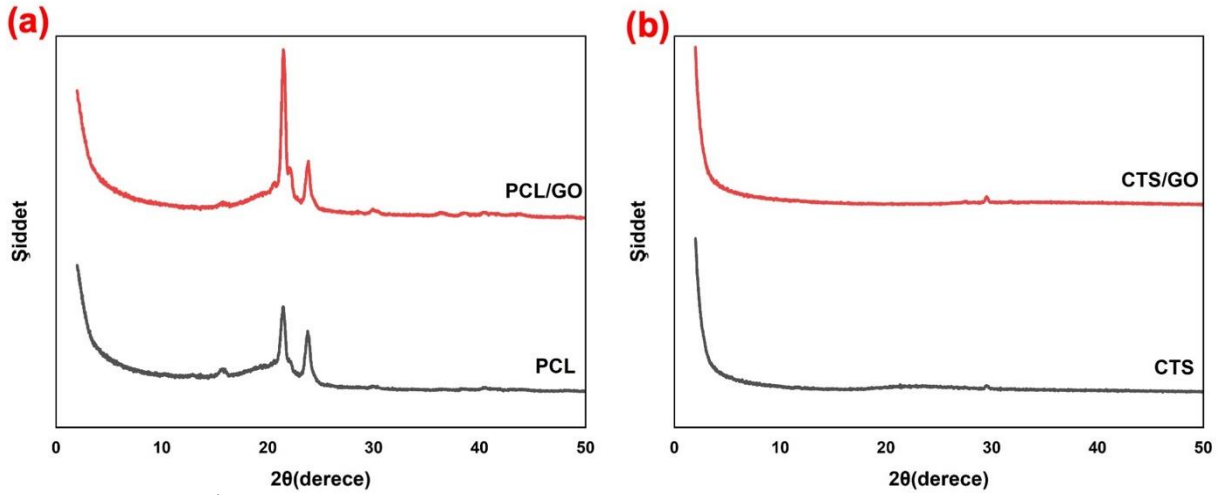
Şekil 3. İlaç taşıma sistemlerinin FTIR spektrumları (a) PCL ve PCL/GO, (b) CTS ve CTS/GO

Şekil 3(b) incelendiğinde saf kitosanın FTIR spektrumu yaklaşık 3450 cm^{-1} de hidroksil grubuna karşılık gelen geniş bir bant göstermektedir. 2900 cm^{-1} 'deki pik tipik C-H gerilme titreşimi iken, yaklaşık 1659 , 1567 ve 1320 cm^{-1} 'deki pikler sırasıyla amid I, II ve III'ün karakteristiğidir (Yuan ve ark., 2010; Han ve ark., 2011). CTS/GO ilaç taşıma sistemi için FTIR spektrumunda, $3400\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ aralığında -NH_2 ve -OH bağı, $2800\text{-}2900\text{ cm}^{-1}$ aralığında C-H bağı, $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ aralığında -NH bağı, $1400\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ aralığında OH-CH bağı, $1300\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ aralığında CH_2 ve CN bağları, $1100\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ aralığında CO bağı, $1000\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ aralığında -C-O-C- bağı olduğu gözlemlenmiştir. CTS/GO filmi, saf CTS filminin FTIR spektrumuna kıyasla $1500\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ aralığında CTS'nin N-H gerilme titreşimine ve GO'nun C=O gerilme titreşimine karşılık gelen piklerde önemli bir azalma göstermiştir. Dolayısıyla, FTIR spektrumları GO'nun CTS matrisine başarılı bir şekilde dahil edildiğini ortaya koymaktadır.

3.2.2. XRD analizi

Şekil 4'te, PCL, PCL/GO, CTS ve CTS/GO filmlerinin XRD sonuçları gösterilmektedir. Şekil 4(a) incelendiğinde PCL film için $2\theta=21,44^\circ$ ve $23,76^\circ$ 'de ve PCL/GO film için $2\theta=21,46^\circ$ ve $23,77^\circ$ 'de güçlü pikler gözlenmiştir. Bu pikler saf PCL'nin ortorombik kristal yapısına atfedilmektedir (Yu ve ark., 2012). İki filmin XRD sonuçları karşılaştırıldığında PCL'nin yarı kristal yapısını yansıtan $2\theta^\circ$ değerlerinde benzer pikler gözlenmiştir. Malik'in (2022) çalışmasında, PCL filminin kristal düzenlilik

yapısını gösteren $2\theta=16^\circ$ ve 17° 'de iki geniş kırınım piki gözlenirken, PCL/GO nanokompoziti için $21,5^\circ$ ve 23° civarında keskin bir pik gözlenmiştir. GO'nun PCL'nin polimerik zincirleriyle etkileşimi nedeniyle, kırınım pikleri $21,5^\circ$ ve 24° gibi daha yüksek bölgelere doğru kaymıştır. Bu, GO ilavesinden sonra saf PCL filmine kıyasla daha düzenli bir yapı oluştuğunu doğrulamaktadır. Bu sonuçlar GO ilavesinin PCL'nin kristalinitesini doğrudan etkilediğini ve yarı kristal bir yapı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca literatürde $2\theta=10,62^\circ$ 'de GO'nun karakteristik pikini (Rajitha ve Mohana, 2020), PCL/GO filmin XRD paterninde gözlenmemiş olması GO'nun PCL matrisinde homojen dağılımına atfedilmektedir (Castilla-Cortázar ve ark., 2019).



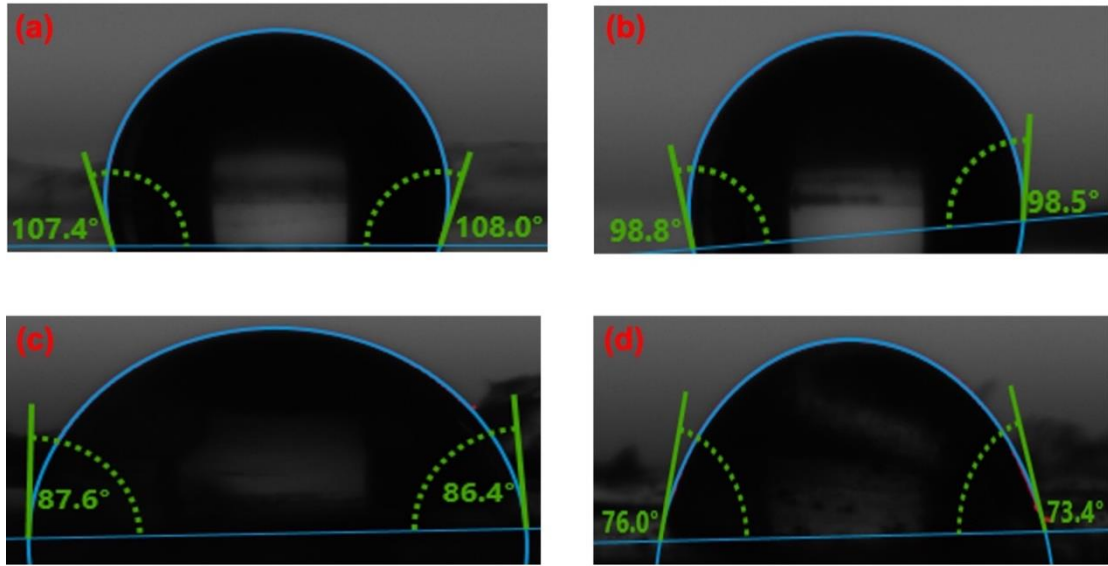
Şekil 4. İlaç taşıma sistemlerinin XRD sonuçları (a) PCL ve PCL/GO, (b) CTS ve CTS/GO

Diğer yandan, Şekil 4(b) ise kitosan filmde $2\theta=10,44^\circ$ 'de karakteristik bir pik ve $29,5^\circ$ 'de ise belirgin bir pik göstermiştir. Kitosana GO'nun eklenmesiyle kırınım açıları kitosana benzer şekilde $10,40^\circ$ küçük bir pik ve $29,5^\circ$ 'de ise daha belirgin bir pik olarak gözlenmiştir. Ayrıca $27,62^\circ$ 'de zayıf bir pik varlığı gözlenmiştir. Li ve ark. (2022), kitosanın XRD sonucunda $2\theta=9,7^\circ$ ve $20,8^\circ$ farklı kristal piklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kompozit filmlerdeki kitosanın kimyasal yapısı artan grafen oksit içeriği ile neredeyse hiç değişmemektedir. Bu durum, kitosan ve grafen oksit arasında çok az kimyasal reaksiyon olduğunu, ancak esas olarak fiziksel etkileşim olduğunu göstermektedir (Han ve ark., 2011). Benzer şekilde, Kim ve ark. (2015), XRD analizi sonucunda kitosan/GO nanokompoziti için $26,61^\circ$ ve $29,50^\circ$ 'de pikler gözlemlenmiştir. Bu durum, CTS ve GO arasındaki güçlü etkileşimler ile CTS matrisinde GO tabakalarının pul pul dökülmesine neden olmuştur (Justin ve Chen, 2014). Böylece CTS/GO filmde GO nano tabakaları için hiçbir karakteristik pik tespit edilememiştir.

3.2.3. Temas açısı analizi

Bir malzemenin yüzeyinin suyla ıslanabilirliği, biyolojik yanıtın belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. PCL hidrofobik bir polimerdir; bu nedenle, PCL'ye GO'nun dahil edilmesi, yüzey pürüzlülüğündeki potansiyel değişiklikler ve yüzeydeki fonksiyonel grupların varlığı nedeniyle su ile temas açısında değişikliklere yol açabilir (Kim ve ark., 2015). Saf ve GO katkılı sentetik ve doğal

polimerlerden elde edilen ilaç taşıma sistemlerinin temas açısı değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Saf PCL filmi için temas açısı değeri $107,7^\circ$ iken, GO'nun eklenmesiyle bu değer PCL/GO filmi için $98,3^\circ$ 'e düşerek hidrofobiklikten uzaklaşan bir yapı ortaya çıkmıştır. GO'nun su temas açısının $29,5^\circ$ olduğu bilinmektedir; dolayısıyla GO, bazal düzlemler bölgesinde yer alan hidroksil ve epoksi grupları ile nano tabakaların kenarlarında yer alan karboksilik gruplar nedeniyle hidrofilik bir yapıya sahiptir (Samanta ve ark., 2015). Polar gruplar yüzey enerjisinde artışa neden olarak polar bileşenlerin varlığı dipol-dipol ve dipol-indüklenmiş dipol etkileşimlerine neden olabilir. Bu durum da PCL matrisine dolgu maddelerinin eklenmesiyle ıslanabilirlikte bir artışa veya su temas açısında bir azalmaya yol açabilir (Oleyaei ve ark., 2016).



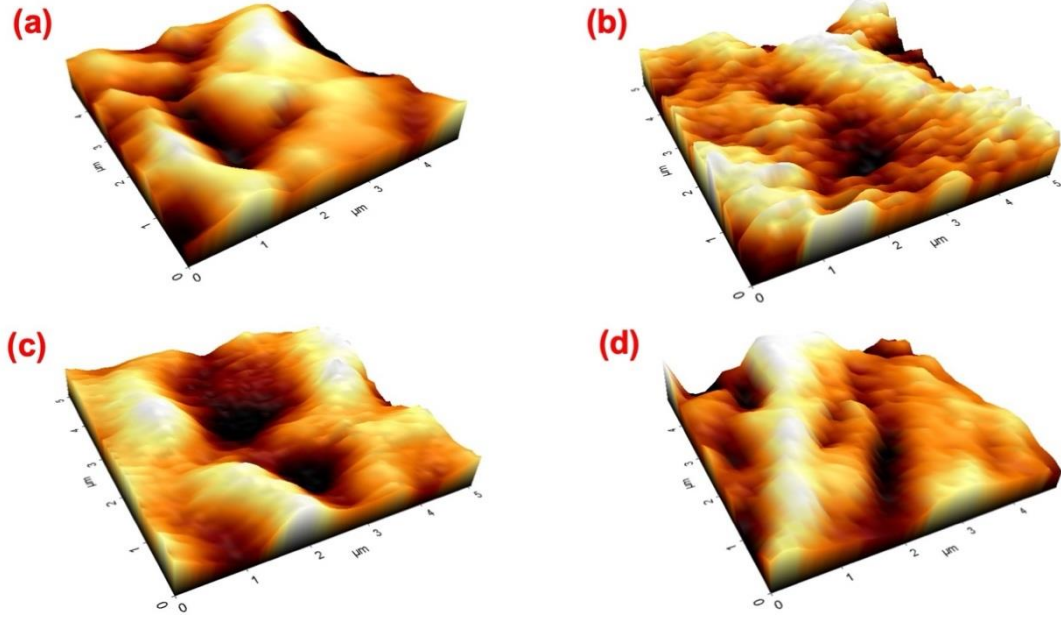
Şekil 5. İlaç taşıma sistemlerinin temas açı değerleri (a) PCL, (b) PCL/GO, (c) CTS ve (d) CTS/GO

Diğer yandan, kitosan ise hidrofilik bir polimerdir. Saf kitosan film için temas açısı değeri 87° olarak ölçülmüştür. Polimer matrisine GO eklenmesiyle, saf CTS polimer filmine kıyasla daha düşük temas açısı değeri ($74,7^\circ$) ölçülmüştür. Luo ve ark. (2014), saf kitosanın temas açısı değerinin $96,4^\circ$ olarak ölçüldüğünü ve bu yüksek değer kitosan zincirlerinin hidrofobikliğinden kaynaklandığını belirtmiştir. Sonuç olarak, polimer matrise eklenen GO ile saf CTS filmine kıyasla daha düşük temas açısı değerine sahip daha hidrofilik bir yapı elde edilmiştir.

3.2.4. AFM analizi

Yüzey pürüzlülüğü biyomedikal uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır çünkü malzemelerdeki daha pürüzlü yüzey; hücresel yapışmayı, farklılaşmayı ve çoğalmayı etkilemelidir. Yüzey pürüzlülüğünün artırılması, daha büyük pürüzsüz yüzeylere kıyasla malzemelerin yüzey alanını arttırmakta ve artan yüzey alanı hücre tutunmasını kuvvetlendirmektedir (Mazaheri ve ark., 2014). Şekil 6'da PCL, PCL/GO, CTS ve CTS/GO filmlerin ortalama pürüzlülük (Ra) parametreleri AFM topografik

görüntüleri kullanılarak ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değerleri PCL için $20,2 \pm 5,2$ nm, PCL/GO için $45,2 \pm 1,2$ nm, CTS için $1,2 \pm 0,5$ nm ve CTS/GO için $1,6 \pm 0,7$ nm olarak bulunmuştur.



Şekil 6. İlaç taşıma sistemlerinin AFM sonuçları (a) PCL, (b) PCL/GO, (c) CTS ve (d) CTS/GO

Sentetik ve doğal polimerlerden elde edilen filmlerin Ra değerleri, GO eklenmiş filmlerin Ra değerlerinden düşüktür. Bu durum, GO tabakalarının eklenmesiyle PCL ve CTS yapısındaki değişime bağlanabilir. Özellikle PCL filminde GO eklenmesinden sonra pürüzlülük daha belirgin olarak yaklaşık %124 oranında artmıştır. Bala ve ark. (2018), polifenilen-eter-eter-sülfon membranlara GO nano tabakalarının eklenmesiyle benzer şekilde pürüzlülük değerlerinin de arttığını ifade etmiştir. Kumar ve ark. (2014) ise PCL/MWCNT nanokompozitlerinin saf PCL'ye kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğunu bildirmiştir. Bir başka çalışmada, Mazaheri ve ark. (2014), kitosan yapısına kattıkları GO içeriğini sıfırdan ağırlıkça %6'ya yükselttikçe, filmlerin yüzey pürüzlülüklerinin $1,6 \pm 0,1$ nm'den $17,5 \pm 2,9$ nm'ye önemli ölçüde arttığını belirtmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada saf ve sentezlenen GO katkılı sentetik ve doğal polimerlerden ilaç taşıma sistemi olarak kullanılacak filmler (PCL, PCL/GO, CTS ve CTS/GO) çözelti döküm yöntemi ile başarılı bir şekilde elde edilmiştir. İlk adımda grafitten grafen oksit modifiye Hummers yöntemi ile sentezlenmiş ve XRD analizi ile karakterize edilmiştir. İkinci adımda ise saf ve sentezlenen GO katkılı sentetik ve doğal polimerlerden ilaç taşıma sistemi olarak kullanılacak filmler üretilmiştir. Son olarak, üretilen filmlerin FTIR, XRD, temas açısı ve AFM analizleri gerçekleştirilmiştir. FTIR spektrumları, PCL, CTS ve GO yapısını doğrulamış ve GO'nun PCL ve CTS matrislerine başarılı bir şekilde dahil edildiğini ortaya koymuştur. AFM analizi ile yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde, PCL'ye GO katılması ile yüzey

pürüzlülüğü yaklaşık %124 oranında artarken CTS'ye GO eklenmesi yaklaşık %34 oranında bir artış gözlenmiştir. Yüksek yüzey pürüzlülüğü ile yüzey hücre tutunması için de olumlu bir sonuç oluşturacaktır. Temas açısı değerleri karşılaştırıldığında ise GO'nun katılması ile PCL ve CTS polimer filmlerin temas açısı değerinde düşme gözlenerek sırasıyla 98,7° ve 74,7° değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, doğal ve sentetik polimerlere GO katılması ile elde edilen malzemelerin yüksek yüzey pürüzlülüğü, yüksek yüzey alanı, hücre tutunma kapasitesi, yüzey hidrofiliğinde artış sağlamasından dolayı ilaç taşıma sistemi olarak kullanılması daha elverişli olacaktır.

İlerleyen çalışmalarda, seçilen bir model etken madde yüklemesi yapılarak ilaç salım çalışmalarının simüle vücut sıvısı ortamında yapılması ve bu etken maddenin filmlerden salım kinetiğinin elde edilmesi planlanmaktadır. Bu çalışma, kullanılan polimerler ve sentezlenen grafen oksit ile farklı üretim yöntemleriyle elde edilen malzemelerin de karakterize edilmesinde gelecek çalışmalar için faydalı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından 1919B012300046 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Bala S., Nithya D., Doraisamy M. Exploring the effects of graphene oxide concentration on properties and antifouling performance of PEES/GO ultrafiltration membranes. *High Performance Polymers* 2018; 30(3): 375-383.
- Ban FY., Majid SR., Huang NM., Lim HN. Graphene oxide and its electrochemical performance. *International Journal of Electrochemical Science* 2012; 7(5): 4345-4351.
- Bari SS., Chatterjee A., Mishra S. Biodegradable polymer nanocomposites: An overview. *Polymer Reviews* 2016; 56(2): 287-328.
- Bulbul YE., Oksuz AU. Cold atmospheric plasma modified polycaprolactone solution prior to electrospinning: A novel approach for improving quercetin-loaded nanofiber drug delivery systems. *International Journal of Pharmaceutics* 2024; 651: 123789.
- Castilla-Cortázar I., Vidaurre A., Marí B., Campillo-Fernández AJ. Morphology, crystallinity, and molecular weight of poly (ϵ -caprolactone)/graphene oxide hybrids. *Polymers* 2019; 11(7): 1099.

- Das PN., Raj KG. Chitosan coated graphene oxide incorporated sodium alginate hydrogel beads for the controlled release of amoxicillin. *International Journal of Biological Macromolecules* 2024; 254: 127837.
- Deb A., Vimala R. Natural and synthetic polymer for graphene oxide mediated anticancer drug delivery- A comparative study. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018; 107: 2320-2333.
- Eskitoros-Togay ŞM. Effects of graphene oxide and silane-grafted graphene oxide on chitosan packaging nanocomposite films for bread preservation. *Journal of Polymer Science* 2024; 62(23): 5424-5433.
- Eskitoros-Togay ŞM., Bulbul YE., Çanga Oymak N., Dilsiz N. Development of poly (ϵ -caprolactone)-based composite packaging films incorporated nanofillers for enhanced strawberry quality. *Journal of Applied Polymer Science* 2023; 140(44): e54611.
- Eskitoros-Togay ŞM., Bulbul YE., Dilsiz N. Combination of nano-hydroxyapatite and curcumin in a biopolymer blend matrix: Characteristics and drug release performance of fibrous composite material systems. *International Journal of Pharmaceutics* 2020a; 590: 119933.
- Eskitoros-Togay ŞM., Bulbul YE., Dilsiz N. Controlled release of doxycycline within core/shell poly(ϵ -caprolactone)/poly(ethylene oxide) fibers via coaxial electrospinning. *Journal of Applied Polymer Science* 2020b; 137(42): 49273.
- Eskitoros-Togay ŞM., Yeşilyurt A., Çörtoğlu S. Silan ajanları ile modifiye edilmiş montmorillonit katkılı polimerik kompozit filmlerin üretilmesi ve karakterizasyonu. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2024; 36(2): 695-704.
- Ghawanmeh AA., Ali GAM., Algarni H., Sarkar SM., Chong KF. Graphene oxide-based hydrogels as a nanocarrier for anticancer drug delivery. *Nano Research* 2019; 12: 973-990.
- Hamedi H., Moradi S., Hudson SM., Tonelli AE., King MW. Chitosan based bioadhesives for biomedical applications: A review. *Carbohydrate Polymers* 2022; 282: 119100.
- Han D., Yan L., Chen W., Li W. Preparation of chitosan/graphene oxide composite film with enhanced mechanical strength in the wet state. *Carbohydrate Polymers* 2011; 83(2): 653-658.
- Huang X., Qi X., Boey F., Zhang H. Graphene-based composites. *Chemical Society Reviews* 2012; 41(2): 666-686.
- Hummers Jr WS., Offeman RE. Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society* 1958; 80(6): 1339-1339.
- Justin R., Chen B. Characterisation and drug release performance of biodegradable chitosan-graphene oxide nanocomposites. *Carbohydrate Polymers* 2014; 103: 70-80.
- Kim DS., Dhand V., Rhee KY., Park SJ. Study on the effect of silanization and improvement in the tensile behavior of graphene-chitosan-composite. *Polymers* 2015; 7(3): 527-551.
- Köroğlu D., Eskitoros-Togay ŞM., Dilsiz N. Enhancing fresh strawberry preservation: Fabrication and characterization of electrospun fibers decorated with functionalized graphene oxide. *Journal of Applied Polymer Science* 2024; 141(39): e55995.

- Kumar S., Bose S., Chatterjee K. Amine-functionalized multiwall carbon nanotubes impart osteoinductive and bactericidal properties in poly(ϵ -caprolactone) composites. *RSC Advances* 2014; 4(37): 19086-19098.
- Li G., Fang H., Hu Y., Chen X., Chu Z., Yang Z. Construction of vinyl ester resins composite coatings via introducing silane-functionalized graphene oxide for enhancing comprehensive performance. *Composites Science and Technology* 2022; 228: 109670.
- Li J., Zeng X., Ren T., Van der Heide E. The preparation of graphene oxide and its derivatives and their application in bio-tribological systems. *Lubricants* 2014; 2(3): 137-161.
- Li Z., Chen F., Yuan L., Liu Y., Zhao Y., Chai Z., Shi W. Uranium (VI) adsorption on graphene oxide nanosheets from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal* 2012; 210: 539-546.
- Liu J., Cui L., Losic D. Graphene and graphene oxide as new nanocarriers for drug delivery applications. *Acta Biomaterialia* 2013; 9(12): 9243-9257.
- Liu Z., Wang K., Peng X., Zhang L. Chitosan-based drug delivery systems: Current strategic design and potential application in human hard tissue repair. *European Polymer Journal* 2022; 166: 110979.
- Luo Y., Pan X., Ling Y., Wang X., Sun R. Facile fabrication of chitosan active film with xylan via direct immersion. *Cellulose* 2014; 21: 1873-1883.
- Malik N. Thermally exfoliated graphene oxide reinforced polycaprolactone-based bactericidal nanocomposites for food packaging applications. *Materials Technology* 2022; 37(5): 345-354.
- Mazaheri M., Akhavan O., Simchi A. Flexible bactericidal graphene oxide–chitosan layers for stem cell proliferation. *Applied Surface Science* 2014; 301: 456-462.
- Mianehrow H., Moghadam MHM., Sharif F., Mazinani S. Graphene-oxide stabilization in electrolyte solutions using hydroxyethyl cellulose for drug delivery application. *International Journal of Pharmaceutics* 2015; 484(1-2): 276-282.
- Mindivan F., Gökteş M. Grafen türevleri dolgulu PCL kompozit filmlerin sentezi, yapısal özellikleri ve biyobozunurluğu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2024; 30(7): 862-868.
- Olenych IB., Aksimentyeva OI., Monastyrskii LS., Horbenko YY., Partyka MV., Luchechko AP., Yarytska LI. Effect of graphene oxide on the properties of porous silicon. *Nanoscale Research Letters* 2016; 11(1): 43.
- Oleyaei SA., Zahedi Y., Ghanbarzadeh B., Moayedi AA. Modification of physicochemical and thermal properties of starch films by incorporation of TiO₂ nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules* 2016; 89: 256-264.
- Oliveira AML., Machado M., Silva GA., Bitoque DB., Tavares Ferreira J., Pinto LA., Ferreira Q. Graphene oxide thin films with drug delivery function. *Nanomaterials* 2022; 12(7): 1149.
- Ordikhani F., Farani MR., Dehghani M., Tamjid E., Simchi A. Physicochemical and biological properties of electrodeposited graphene oxide/chitosan films with drug-eluting capacity. *Carbon* 2015; 84: 91-102.

- Rajitha K., Mohana KN. Application of modified graphene oxide–Polycaprolactone nanocomposite coating for corrosion control of mild steel in saline medium. *Materials Chemistry and Physics* 2020; 241: 122050.
- Sahafnejad-Mohammadi I., Rahmati S., Najmoddin N., Bodaghi M. Biomimetic polycaprolactone-graphene oxide composites for 3D printing bone scaffolds. *Macromolecular Materials and Engineering* 2023; 308: 2200558.
- Samanta S., Singh S., Sahoo RR. Simultaneous chemical reduction and surface functionalization of graphene oxide for efficient lubrication of steel–steel contact. *RSC Advances* 2015; 5(76): 61888-61899.
- Sung YK., Kim SW. Recent advances in polymeric drug delivery systems. *Biomaterials Research* 2020; 24(1): 12.
- Tian B., Liu J. Smart stimuli-responsive chitosan hydrogel for drug delivery: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 2023; 235: 123902.
- Wani SUD., Ali M., Mehdi S., Masoodi MH., Zargar MI., Shakeel F. A review on chitosan and alginate-based microcapsules: Mechanism and applications in drug delivery systems. *International Journal of Biological Macromolecules* 2023; 248: 125875.
- Yang K., Feng L., Shi X., Liu Z. Nano-graphene in biomedicine: Theranostic applications. *Chemical Society Reviews* 2013; 42: 530-547.
- Yang WW., Pierstorff E. Reservoir-based polymer drug delivery systems. *Journal of Laboratory Automation* 2012; 17(1): 50-58.
- Yuan Q., Shah J., Hein S., Misra RDK. Controlled and extended drug release behavior of chitosan-based nanoparticle carrier. *Acta Biomaterialia* 2010; 6(3): 1140-1148.
- Yu T., Wang GS., Liu L., Wang P., Wei ZY., Qi M. Synthesis of PCL/graphene oxide composites by in situ polymerization. *Advanced Materials Research* 2012; 518-523: 837-840.

Gibberellic Acid is Active Only in Orchid Cross-Pollination

Mehmet AYBEKE^{1*}

¹Department of Biology, Faculty of Science, Trakya University, Edirne, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-9512-5313>

*Correspondence: mehmetaybeke@trakya.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 13.03.2024

Accepted: 01.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Himantoglossum

Hormone

Orchid

Post-pollination phenomena

Flower

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the endogenous hormone activities of Gibberellic acid (GA) in compatible (Intraspecific=ISP) and incompatible pollination (Intergeneric=IGP). It was designed to be *Himantoglossum robertianum* in ISP experiments and *H. robertianum* and *Orchis italica* in IGP experiments. For this reason, some polynariums taken from *O. italica* have been applied with needles to the flower stigmas of *H. robertianum*. Ovaries with stigma have been taken from both types of pollination for 10 days, and quantitative hormone analyses have been performed by LC-MS/MS. As a result, GA was not found in the ISP experiments. Likewise, it did not appear at all in the tests between the 1st and 6th days of IGP; it was found only on the 7th, 8th, 9th, and 10th days of IGP and at increasingly higher values. For the first time, endogenous ovary-stigma GA amounts in the post-pollination process of orchid IGP were determined in this study, and its importance was discussed. According to the statistical analysis, there is a significant difference between almost all values. It has been understood that additional histological and embryological studies are needed to understand the reason for the very high activity, especially on days 9 and 10.

Gibberellik Asit Yalnızca Orkidelerin Çapraz Tozlaşmasında Aktiftir

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.03.2024

Kabul tarihi: 01.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Himantoglossum

Hormon

Orkide

Tozlaşma sonrası olaylar

Çiçek

ÖZ

Bu çalışmanın amacı Gibberellik asitin (GA) uyumlu (Intraspesifik=ISP) ve uyumsuz tozlaşmada (Intergeneric=IGP) endojen hormon aktivitelerini belirlemektir. ISP deneylerinde *Himantoglossum robertianum* ve IGP deneylerinde *H. robertianum* ve *Orchis italica* olacak şekilde tasarlandı. Bu nedenle, *O. italica*'dan alınan bazı polinariumlar *H. robertianum*'un çiçek stigmalarına iğnelerle uygulanmıştır. Her iki tozlaşma türünden de stigmalı yumurtalıklar 10 gün süreyle alınmış ve LC-MS/MS ile kantitatif hormon analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, ISP deneylerinde GA bulunamadı. Aynı şekilde IGP'nin 1. ve 6. günleri arasında yapılan testlerde de hiç görünmedi; IGP'nin sadece 7, 8, 9 ve 10. günlerinde ve giderek daha yüksek değerlerde bulundu. İlk kez bu çalışmada orkide IGP'nin tozlaşma sonrası süreçteki endojen yumurtalık-stigma GA miktarları belirlenmiş ve önemi tartışılmıştır. İstatistiksel analizlere göre hemen hemen tüm değerler arasında anlamlı bir fark vardır. Özellikle 9. ve 10. günlerde görülen çok yüksek aktivitenin nedeninin anlaşılabilmesi için ilave histolojik ve embriyolojik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır.

To Cite: Aybeke M. Gibberellic Acid is Active Only in Orchid Cross-Pollination. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 533-542.

1. Introduction

Considered being the largest family of plants, Orchidaceae consists of approximately 31,000 species (Hassler, 1994 - 2024). Orchids have been the focus of attention of many researchers and animals with their labellums, which vary in shape and color, and their patterned flower structures consisting of three petals and three sepals. Orchids are considered unusual among flowering plants. Food-deceptive and rewarding flowers, seen as pollination strategies, or attractive flower structures that secrete sex-deceptive and chemical pheromones attract the attention of many pollinator agents (Lanzino et al., 2023). After such reciprocal pollination events with pollinator insects, the complex events in flower structures and metabolisms are entitled “post-pollination phenomena,” and the findings on this subject are outlined below:

The first action that triggers hormonal events post-pollination is the penetration of auxin into the stigma in the pollen (Arditti and Flick, 1976; Strauss and Arditti, 1984). Auxin from pollen diffuses through the column and stimulates ethylene production, which triggers perianth senescence (Clifford and Owens, 1988). Orchid flowers are very sensitive to ethylene (Dijkman and Burg, 1970). Ethylene is also released in the flower after the polynarium leaves the flower by a pollinator insect (Arditti et al., 1973; Strauss and Arditti, 1984) and with the activity of auxin, the amount of ethylene increases even more in the flower (Strauss and Arditti, 1984). Various studies have attempted to reveal the responses of different flower parts to exogenous hormonal experiments. For instance, Abscisic acid (ABA) and Naphtalen acetic acid (NAA), ethylene, and partially Gibberellic acid (GA) in the lateral petals, sepals, and labellum, yellowing and hooding in the dorsal sepal, senescens and anthocyanin synthesis are initiated. Again, in this process, ovule development (Zhang and ONelll, 1993), swelling, development, and coordination of male and female gametophytes (Zhang and ONelll, 1993) are provided in the ovary, while a change in curvature is observed in the pedicel. In addition, stigmatic closure with auxin in the stigma, auxin promotion in the column, and Ethylene production after pollination, RNA synthesis, anthocyanin synthesis, swelling, straightening, and greening are seen. With these, the movement of substrates from the perianth to the ovary and column is observed (Arditti, 1969; Arditti et al., 1971; Arditti, 1979b). This post-pollination process is monitored in all orchid taxa, autogamic or allogamic. Pollen has auxin (Arditti 1979a). Although auxin is secreted from pollen, some researchers have emphasized that other post-pollination factors should be examined (Strauss and Arditti, 1982). Therefore, in our first trials, salicylic acid, Abscisic acid, and jasmonic acid hormones were detected in polinia, apart from auxin (unpublished result). Because different studies have also referred to the presence of JA in pollen (Yamane et al., 1982). For this reason, it has been noted that there is a lack of knowledge in the form of whether there are other hormones in flowers after post-pollination and to what extent the activities of the endogenous GA change in pollination between different taxa. Additionally, many studies have attempted to elucidate the post-pollination process by applying exogenous hormones (Arditti et al., 1973; Strauss and Arditti, 1984; Clifford et al., 1988). In *Arabidopsis thaliana* (Swain, 2005), tomato (*Lycopersicon esculentum*) (Proels et al., 2006), *Petunia hybrida* (Kovaleva et al., 2005),

and *Lilium* (Barendse et al., 1970), it has been described GA to support germination and tube growth of pollen. On the other hand, it has been reported that GAs inhibit pollen growth in vitro when not applied at species-specific concentrations (Kovaleva et al., 2005). From this it is understood that GA is active at a very sensitive fine-tuned concentration for pollination and pollen tube performance, and it could affect pollen performance, even ovule development and fertilization, in applications other than this concentration. Also, it has been stated in different studies that the effect of GA is bidirectional and inhibitory, or it is even reduced to zero at increasing doses (Zhou ve Zhang, 2010). Arditti et al. (1971), stated that GA was less effective than NAA in the post-pollination process other than anthocyanin synthesis. It is hypothesized that gibberellic acid (GA), as a bidirectional hormone, may function to inhibit successful fertilization in the context of incompatible pollination (IGP). The delayed synthesis and increased levels of GA observed in the later stages of IGP could indicate that GA serves as a physiological mechanism to prevent fertilization, thereby contributing to reproductive failure in intergeneric pollination. For this reason, the first aim of the study is to investigate the endogenous hormone GA that could not be detected in the ovaries with stigma before or during post pollination, its secondary objective is to determine the activities of this hormone in pollination experiments performed within the same taxon (ISP) or with different taxa (IGP).

2. Materials and Methods

In the study, two different pollination experiments have been conducted: 1. Compatible pollination made with members of the same taxon (Intraspecific=ISP), 2. Incompatible cross-pollination experiments have been carried out with specimens from different genera (Intergeneric=IGP) to prevent fertilization as much as possible. As a material, samples belonging to *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P. Delforge and *Orchis italica* Poir. have been used in the experiments. The samples were collected from Muğla and Çanakkale in the previous year, some were dried and recorded in the herbarium Edirne, Trakya University Herbarium (EDTU 22869, EDTU 10417), and some were kept in pots. Manual pollination experiments were carried out on specimens blooming in March the following year (Pollination was done on the first 1 or 2 days after the flower emerged from the bud). In order to confirm the accuracy of the samples, they were also identified (Deniz, 2022; Güler, 2022).

For this reason, polynariums taken from *H. robertianum* flowers by hand were placed on the stigmas of the flowers of the same taxon with the help of needle and forceps. Additionally, some polynariums from *O. italica* were also applied to another *H. robertianum* flower stigma. Therefore, both in-species pollination and hybridization between different genera were tested. The ovaries with the stigma of the flowers taken from both types of pollination each day separately for 10 days were taken into liquid nitrogen and then kept in depfreeze at -80 °C until hormonal tests.

2.1. Preparation of extracts

Extracts were prepared according to the procedure of Müller and Munné-Bosch (2011) with some modifications. The samples were pulverized using a grinder, as follows: A 1.5 mg sample was dissolved in 10 mL ethanol (95%), followed by ultrasonic-assisted extraction in an ultrasonic cleaning bath for 60 min at 40 °C. This mixture was centrifuged at 5000 rpm for 30 min at +4 °C, and the supernatant was collected into a volumetric flask. The extraction procedure was repeated twice. 5 mL ethanol was added to the sample again, and an ultrasonic bath was performed at 40 °C for 30 min and centrifuged. Finally, the supernatants were combined into a 25 mL volumetric flask, and the volume was made up to the mark with ethanol (95%). 100 µL of sample was mixed with 900 µL extraction solution (water, methanol, formic acid:v:v:v, 79:20:1), and samples were vortexed for 30 s. After that, the mixture was homogenized using a sonicator at 45°C 10 min. Samples were centrifuged at 13500 rpm for 5 min, and the supernatant was injected into the LC-MS/MS system for quantitative analysis.

2.2. Calibration curve and quantification in liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS).

LC was performed using an Agilent 6460 (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) LC system. Data acquisition and processing were accomplished using MassHunter, the Agilent LC-MS software. The concentration of the hormones in each sample was calculated using the calibration curve. Samples were prepared on the same day and analyzed in the same analytical run. All calibration curves were prepared with the following concentrations: Blank (water, methanol, formic acid:v:v:v, 79:20:), 5, 10, 25, 50, 100 ng / mL, and injected all points three times. The linearity of all the hormone was $R^2 \geq 0.995$. Total GA was used, and the standards were prepared from total GA in the amounts given above. It has been obtained from the calibration standards of the commercial company to which the device is affiliated (Agilent 6460=Agilent Technologies, Waldbronn, Germany). These samples were analyzed according to the procedure described for sample preparation.

Hormone analysis was performed using an LC system (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany). MS/MS analyses were conducted on an Agilent 6460 triple quadruple LCMS equipped with an electrospray ionization interface. 1 g sample was taken into a falcon, and 10 mL extra-pure water was added. The solution was vortexed for 1 min and sonicated for 15 min at 45 °C. BB and BP samples were centrifuged for 5 min at 13500 rpm. Then, 50 mL clear supernatant was mixed with 50 mL internal standard and 900 mL extraction solution (Mobile phase A, methanol, acetonitrile: v:v:v, 5:15: 5), and the sample was injected into the LC-MSMS system. Both types of 10-day trials were repeated three times and the differences in the hormonal values were compared using ANOVA with means separation by the Duncan's test using the SPSS 26 software at a significance level of $p \leq 0.05$.

3. Results and Discussion

GA was active only on IGP days 7, 8 and 9 in this study and increasing gradually, and has no activity in ISP experiments (Figure 1 and Table 1). According to statistical tests, the differences between the GA activities of the 9th and 10th days and the values on the other days (IGP 7,8) are generally significant (Table 2).

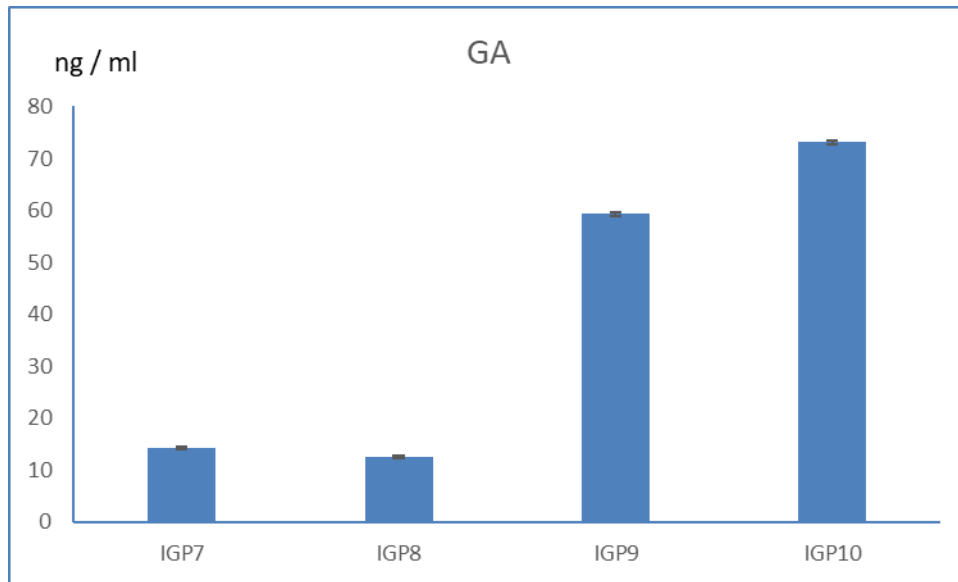


Figure 1. GA hormone mean values in IGP trials. The numbers (IGP 7, 8, etc.) show which day the trial belongs to. Standard error values are above the columns. The values, expressed in ng/ml, were 14.21 (± 0.29) for IGP7, 12.47 (± 0.29) for IGP8, 59.26 (± 0.29) for IGP9, and 73.10 (± 0.29) for IGP10. As observed, these values show a gradual increase from IGP7 to IGP10.

It has been reported that some gibberellins in orchids have different effects on flowering depending on the plant species or variety, and flowering in *Phalaenopsis* Blume hybrids is promoted by GA application under high-temperature conditions (Chen et al., 1997). It has also been stated that GA plays a role in microsporogenesis (Cid, 2000). Additionally, GA is also effective in the pollination process. For instance, while GA increased gradually after compatible pollination, it increased until the day 8 in incompatible pollination and did not increase afterward (Kojima, 1996). However, in another study, the application of GA to anthesis negatively affected and ceased pollen performance and elongation of pollen tubes (Mesejo et al., 2008). It was even concluded that applying GA3 in cross-pollinated Clementine mandarin cultivars impairs fertilization by increasing ovule abortions or reducing pollen tube growth (Mesejo et al., 2008). In fact, it is known that the high parthenocarpy feature in tangerine varieties is due to the high gibberellins in the plant (Talo et al., 1992).

Table 1. Basic descriptives and Anova test results belonging to GA hormone activities in the groups
(The values for ISP 1-10 and IGP 1-6 are not available due to the absence of the hormone).

95% Confidence Interval for Mean									
Groups	N	SD ¹	LB ²	UB ³	Min ⁴	Max ⁴	F ⁵	df ⁶	Sig ⁷
IGP7	3	0.21099	13.6886	14.7369	14.00	14.42	70.660	3	0.000
IGP8	3	1.87577	7.8169	17.1362	10.60	14.35	70.660	3	0.000
IGP9	3	9.68893	35.1958	83.3331	49.58	68.95	70.660	3	0.000
IGP10	3	8.13232	52.9058	93.3094	64.98	81.24	70.660	3	0.000

¹SD: Std. deviation, ²LB: Lower Bound, ³UB: Upper Bound, ⁴: minimum (Min) and maximum (Max) values, ⁵: F-value (Anova), ⁶: df (degrees of freedom), ⁷: Sig (significance)

In *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh (Swain, 2005), tomato (*Solanum lycopersicum* L.) (Proels et al., 2006), *Petunia hybrida* (Hook.) Regel (Kovaleva et al., 2005), and *Lilium* L. (Barendse et al., 1970), it has been described GA to support germination and tube growth of pollen. On the other hand, it has been reported that GAs inhibit pollen growth in vitro when not applied at species-specific concentrations (Kovaleva et al., 2005). From this, it is understood that GA is active at a very sensitive fine-tuned concentration for pollination and pollen tube performance, and it could affect pollen performance, even ovule development and fertilization, in applications other than this concentration.

Table 2. Mean comparison of GA activities in IGP experiments based on Duncan's test.

Group	IGP7	IGP8	IGP9	IGP10
IGP7		1.73621	-45.0517*	-58.89485*
IGP8			-46.7879*	-60.63106*
IGP9				-13.84316
IGP10				

*: significant at $p \leq 0.05$. As a result, there is statistical significance in the differences between IGP7 and IGP and IGP10 as well as between IGP8 and IGP10. Similarly, there is a considerable difference between IGP9 and IGP10 and all other groups (IGP7 and IGP8).

It has been stated in different studies that the effect of GA is bidirectional and inhibitory, or it is even reduced to zero at increasing doses (Zhou ve Zhang, 2010). Our findings suggest that endogenous GA only appeared between 7-10 days in IGP pollination, inhibiting and completely ceasing pollen performance by showing increasing doses with each passing day. As a result of the experiment, it was seen that empty seeds without embryo were poured from the fruits. From this, it is understood that GA is inactive in ISP and more in IGP. Arditti et al. (1971) stated that GA was less effective than NAA in the post-pollination process other than anthocyanin synthesis. However, our results show endogenous GA, especially in IGP and especially in the last days (7-10 days) and in increasing doses, indicating that

this hormone is also very effective in incompatible pollination. It is thought that why GA did not appear in the first days of the trials and reached such a rapid peak in the last days could only be better understood with additional embryological studies. Thus, additional histological and embryological studies must be conducted concurrently, focusing on stigma, stylus anatomy, and female gametophyte development.

According to Arditti et al. (1971), GA is active after pollination; However, the status of the hormone in compatible and incompatible pollination is not specified. Additionally, in this study of Arditti et al. (1971), the trials were conducted with exogenous hormone application; in our findings, endogenous hormone levels were examined, and intergeneric cross-pollination conditions were also carefully followed in the trials, and the endogenous and natural activities of this hormone were determined. During our literature analysis, no cross-pollination experiments such as IGP were encountered in post-pollination studies in orchids. Therefore, our findings represent a novelty as they aim to detect endogenous hormone levels and GA activity for the first time in both pollination experiments.

While the importance of gibberellic acid (GA) in guiding plant developmental processes has long been understood, its role in the context of incompatible pollination has come to occupy considerable research attention in recent years. Below is a summary of the literature concerning GA's function in incompatible pollination and how these understandings could potentially be integrated into biotechnological and agricultural applications:

Biotechnological and Agricultural Applications Cross-Species Hybridization: GA has the ability to promote pollentube growth between genetically incompatible plants providing opportunities for alternative routes in hybridbreeding. These applications could be useful to generate new plant species or varieties (Nair et al., 2020). **Breaking of Self-Incompatibility:** In commercial agriculture, application of GA may improve fertilization rates in plants characterized by self-incompatible system. Meng et al. (2021) showed that GA applications can enhance fertilization and seed set of self-incompatible plants as well **Enhancing Seed and Fruit Development during Adverse Conditions:** In high stress environmental or low pollinator activity agricultural regions, GA application could improve the seed and fruit yield of plants in such conditions. In such conditions the use of GA can increase plant biomass which in turn, leads to higher agricultural yield (Aloni et al., 2019). Studies reviewed with this literature further indicate that GA is vital for plant growth and development but also functions as a strategic intervention to break genetic limitations and improve agricultural performance. The study results of the endogenous gibberellic acid content are a promising discovery at identification of parent plants which will enable to obtain in combination new hybrids (strains) according human needs with cultivation and work out tuber bearing orchids and species having medicinal value. This appears to be the first study addressing this issue.

The study's findings suggested that gibberellic acid (GA) acts as a physiological mechanism to prevent fertilization because of its delayed synthesis and the higher amounts of GA seen in the latter stages of interspecific germination processes (IGP). This result validates our hypothesis, which statistical analysis

have verified. Furthermore, this event serves as an important safeguard for the ongoing spread of the species.

4. Conclusion

GA hormone was seen only in IGP experiments and only on the 7th, 8th, 9th, and 10th days during the orchid post-pollination process. In ISP experiments, no activity of the GA hormone was detected. In IGP experiments, GA activity was detected at close values on the 7th and 8th days but at very high levels on the 9th and 10th days. According to the statistical tests, the increase in activity, especially on the 9th and 10th days, is significant. Additionally, performing orchid post-pollination studies with endogenous hormone activity detection produces more efficient results. In addition, the findings are made for the first time in ovaries with stigma and endogenous GA activity. In addition, it has been revealed that simultaneous histological and embryological studies should be carried out to understand the excessive GA activity on the 9th and 10th days with the events in the ovary and stigma.

Acknowledgments

The author thanks Prof. Dr. Oğuzhan DOĞANLAR for the statistical calculations.

Conflict of Interest

The author of the article declares that he has no conflict of interest.

Researchers' Contribution

The author declares that he has contributed 100% to the article.

References

- Aloni R., Lüttge U., Fink S. Gibberellins and their role in plant development under stress conditions: Applications in agriculture. *Plant Biology Review* 2019; 12(2): 223-239.
- Arditti J. Post pollination phenomena in orchid flowers. *Australian Orchid Review* 1969; 34: 155–158.
- Arditti J., Jeffrey DC., Flick BH. Post-pollination phenomena in orchid flowers iii. Effects and interactions of auxin, kinetin or gibberellin. *New Phytologist* 1971; 70: 1125–1141.
- Arditti J., Nanette MH., Chadwick AV. Post-pollination phenomena in orchid flowers. IV. Effects of ethylene. *American Journal of Botany* 1973; 60(9): 883-888. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1973.tb05985.x>
- Arditti J., Flick BH. Post pollination phenomena in orchid flowers. VI. Excised floral segments of cymbidium. *American Journal of Botany* 1976; 63(2): 201-211.
- Arditti J. Aspects of the physiology of orchids. *Advances in Botanical Research* 1979a; 7: 421-655. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60091-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60091-9)

- Arditti J. Aspects of the physiology of orchids, In: Woolhouse HW. (editor). London, UK: Advances in Botanical Research Academic press 1979b; 7: 421-655.
- Barendse GWM., Rodriguespereira AS., Berkers PA., Driessen FM., Vaneyden-Emons A., Linskens HF. Growth hormones in pollen, styles and ovaries of *Petunia hybrida* and of *Lilium* species. Acta Botanica Neerlandica 1970; 19(2): 175-186.
- Chen WS., Chang HW., Chen WH., Lin YS. Gibberellic acid and cytokinin affect *Phalaenopsis* flower morphology at high temperature. Hortscience 1997; 32: 1069-1073.
- Cid LPB. Introdução aos hormônios vegetais. DF, Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (in Portuguese); 2000.
- Clifford SC., Owens SJ. Post-pollination phenomena and embryo development in the oncidinae (Orchidaceae). Sexual reproduction in higher plants. In: Proceedings of the Tenth International Symposium on the Sexual Reproduction in Higher Plants; 1988; pp 407–412. Siena, Italy.
- Deniz İG. *Himantoglossum* Spreng., Orchidaceae. In: Güner A., Kandemir A., Menemen Y., Yıldırım H., Aslan S., Ekşi G., Güner I., Çimen AÖ. (Eds.). Resimli Türkiye Florası. İstanbul, Türkiye: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Basımı 2022; Cilt 3a, 1. Baskı, pp 235-236 (in Turkish)
- Dijkman MJ., Burg SP. Auxin induced spoiling of vanda blossoms. American Orchid Society Bulletin 1970; 39: 799-804.
- Güler N. *Orchis* L., Orchidaceae. In: Güner A., Kandemir A., Menemen Y., Yıldırım H., Aslan S., Ekşi G., Güner I., Çimen AÖ. (Eds.), Resimli Türkiye florası. İstanbul, Türkiye: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Basımı 2022; Cilt 3a, 1.baskı, pp 165-167 (in Turkish).
- Hassler Michael (1994 - 2024): World Plants. Synonymic Checklist and Distribution of the World Flora. Version 24.8; last update August 27th, 2024. - www.worldplants.de. Last accessed 02/09/2024.
- Kojima ISP. Changes of abscisic acid, indole-3-acetic acid and gibberellin-like substances in the flowers and developing fruitlets of citrus cultivar ‘Hyuganatsu’. Scientia Horticulturae 1996; 65: 263-272. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(96\)00882-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(96)00882-5)
- Kovaleva L., Zakharova E. Hormonal status of the pollen-pistil system at the progamic phase of fertilization after compatible and incompatible pollination in *Petunia hybrida* L. Sexual Plant Reproduction 2003; 16: 191–196. <https://doi.org/10.1007/s00497-003-0189-1>
- Lanzino M., Palermo AM., Pellegrino G. The effect of inflorescence display size and flower position on pollination success in two deceptive and one rewarding orchid. Plant Biology 2023.
- Mesejo C., Martinez-Fuentes A., Reig C., Agusti M. Gibberellic acid impairs fertilization in Clementine mandarin under cross-pollination conditions. Plant Science 2008; 175: 267–271.
- Meng Z., Zhang J. Self-incompatibility overcoming strategies using gibberellic acid applications in agricultural crops. Advances in Crop Science and Technology. 2021; 9(6): 303-12.

- Müller M., Munné-Bosch S. Rapid and sensitive hormonal profiling of complex plant samples by liquid chromatography coupled to electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Plant Methods* 2011; 37.
- Nair V., Singh A., Kumar P. Cross-species hybridization and its facilitation by gibberellins: A breakthrough in plant breeding. *Plant Science Today* 2020; 5(3): 97-104. <https://doi.org/10.14719/pst.2020.5.3.107>
- Proels RISP., Gonzalez MC., Roitsch T. Gibberellin-dependent induction of tomato extracellular invertase Lin7 is required for pollen development. *Functional Plant Biology* 2006; 33: 547–554. <https://doi.org/10.1073/pnas.2207558119>
- Strauss MS., Arditti J. Postpollination phenomena in orchid flowers. X. transport and fate of auxin. *Botanical Gazette* 1982; 143(3): 286-293.
- Strauss MS., Arditti J. Postpollination phenomena in orchid flowers. Xii. Effects of pollination, emasculation, and auxin treatment on flowers of *Cattleya porcia* 'cannizaro' and the rostellum of *Phalaenopsis*. *Botanical Gazette* 1984; 145(1): 43-49. <https://doi.org/10.1086/337424>
- Swain SM., Singh DP. Tall tales from sly dwarves: novel functions of gibberellins in plant development. *Trends in Plant Science* 2005; 10: 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.01.007>
- Sora T., Lee HJ. Gibberellins and ovule development in interspecific hybridization: A comparative study. *Journal of Plant Reproductive Biology* 2018; 45(2): 128-37. <https://doi.org/10.1007/s13299-018-0247-6>
- Talo' M., Zacarias NL., Primo-Millo E. Gibberellins and parthenocarpic ability in developing ovaries of seedless mandarins. *Plant Physiology* 1992; 99: 1575–1581.
- Wu R., Zhang X., Wang Z. Hormonal balance in reproductive tissues and its modulation by gibberellins during incompatible pollination in plants. *Plant Hormone Signaling* 2019; 68(4): 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.plant.2019.01.001>
- Yamane H., Abe H., Takahashi N. Jasmonic acid and methyl jasmonate in pollens and anthers of three camellia species. *Plant Cell Physiology* 1982; 23(6): 1125–1127. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076443>
- Yu J., Sun X., Liu X., Ma J. Gibberellins promote pollen tube growth by enhancing energy metabolism and repressing stress responses. *Plant Physiology and Biochemistry* 2017; 120: 222-30.
- Zhang XS., Onell SD. Ovary and gametophyte development are coordinately regulated by auxin and ethylene following pollination. *Plant Cell* 1993; 5: 403-418.
- Zhou R., Zhang C. Effect of gibberellin and paclobutrazol on pollen germination and tube growth in pear. *Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science Edition)* 2010; 2: 44–46.



OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(2): 543-565, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and
Technology, 8(2): 543-565, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Dergisi

Osmaniye Korkut Ata University
Journal of The Institute of Science
and Technology



Bloklarda Yağmur Suyu Hasadı Uygulaması ile Sürdürülebilir Bir Üniversite Kampüsü

Tevfik Denizhan MUFTUOĞLU^{1*}, Hasan Volkan ORAL²

^{1,2}İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği (İngilizce) Bölümü, 34295, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0001-5894-8986>

²<https://orcid.org/0000-0002-5743-1931>

*Sorumlu yazar: tmuftuoglu@aydin.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.07.2024

Kabul tarihi: 17.11.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Yağmur suyu hasadı
Sürdürülebilir kalkınma amaçları
Sürdürülebilir su yönetimi
Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar

Bu çalışma, İstanbul Aydın Üniversitesi Florya Merkez Kampüsü'ndeki F Blok'ta yağmur suyu hasadı sisteminin uygulanabilirliğini ve etkinliğini değerlendirmektedir. Yağmur suyunun toplanma, depolanma ve kullanım süreçleri, bölgesel yağış verileri ve günlük su tüketim verileri kullanılarak mevsimsel simülasyon ve istatistiksel analizlerle ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Ortalama ($34,45 \text{ m}^3$) ve medyan ($35,59 \text{ m}^3$) değerlerinin yakın olması, veri setinde aşırı uçların sınırlı olduğunu ve yağış miktarlarının genel olarak dengeli bir şekilde dağıldığını gösterir. Ancak, standart sapma ($16,37 \text{ m}^3$) ve varyans ($267,92 \text{ m}^6$) değerlerinin yüksekliği, aylık yağış miktarlarında belirgin dalgalanmalar olduğunu ve bazı ayların ortalamadan önemli ölçüde farklılaştığını ortaya koymaktadır. Değişim katsayısı (%47,52), yıl boyunca yağışların mevsimsel olarak değişkenlik gösterdiğini, çarpıklık (0,24) ve basıklık (-1,23) değerleri ise yağışların çoğunlukla tahmin edilebilir aralıklarda kaldığını göstermektedir. Kurulan sistemin yıllık $413,39 \text{ m}^3$ yağmur suyu toplama kapasitesi, F Blok'un su ihtiyacının %65'ini karşılayabilmektedir. Bu sonuçlar, yağmur suyunun kampüs ölçeğinde sürdürülebilir bir su kaynağı olarak kullanılabileceğini ve mevsimsel değişimlere uyum sağlayan su yönetimi stratejileri geliştirilmesine olanak tanıdığını göstermektedir. Yerel meteorolojik verilerin kullanımı ve mevsimsel dalgalanmaların detaylı analizi, su toplama sisteminin performansını optimize etmek için önemli içgörüler sunmaktadır. Çalışma, yağmur suyu hasadı sistemlerinin mevsimsel olarak değerlendirilmesi ve talebe göre uyarlanması sayesinde literatürdeki benzerlerinden ayrılarak kampüs ölçeğinde sürdürülebilir su yönetimi stratejilerine katkıda bulunmaktadır.

Implementing Rainwater Harvesting in Blocks for a Sustainable University Campus

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 21.07.2024

Accepted: 17.11.2024

Published online: 12.03.2025

This study evaluates the applicability and efficiency of a rainwater harvesting system at the F Block of Istanbul Aydın University's Florya Main Campus. The processes of collecting, storing, and utilizing rainwater were examined in detail using regional rainfall data and daily water consumption data through seasonal simulations and statistical analyses. The proximity of the mean (34.45 m^3) and median (35.59 m^3) values indicates that outliers are limited within the dataset and that rainfall amounts are generally balanced. However, the high standard deviation (16.37 m^3) and variance (267.92 m^6) reveal significant variations in monthly rainfall, with some months differing considerably from the average. The coefficient of variation (47.52%) indicates that rainfall varies seasonally throughout the year, while the skewness (0.24) and kurtosis (-1.23) suggest that the rainfall data is mostly within a predictable range. The installed system's

Keywords:

Rainwater harvesting
Sustainable development goals
Sustainable water management
Sustainable cities and
communities

annual rainwater collection capacity of 413.39 m³ meets 65% of the annual water demand of F Block. These results demonstrate that rainwater can be used as a sustainable water source on a campus scale, enabling the development of water management strategies that adapt to seasonal changes. The use of local meteorological data and detailed analysis of seasonal variations provides valuable insights for optimizing the performance of the rainwater harvesting system. By evaluating rainwater harvesting systems seasonally and adapting to demand, this study distinguishes itself from similar research in the literature and contributes to sustainable water management strategies at the campus scale.

To Cite: Müftüoğlu TD., Oral HV. Implementing Rainwater Harvesting in Blocks for a Sustainable University Campus. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 543-565.

1. Introduction

Rainwater harvesting (RWH) is one of the proactive approaches that help in environmental sustainability due to rainwater collection and storage, dealing with water shortage or scarcity, and reducing runoff (Ferreira et al., 2023). This picks up the rain from different catchment areas and then stores it in storage tanks for various purposes, thus suitable for both urban and rural environments. Research shows that there is an increasing interest in the application of RWH for sustainable living (Samzadeh et al., 2021). The feasibility of vertical RWH has been explored, especially in tropical climates, to show how building facades can be optimally utilized to catch wind-driven rain, hence proposing the efficiency of RWH. This is an integration that works well with architectural design for sustainable infrastructure development (Correa et al., 2018). Theoretical models help identify the effective usable rainfall depths and help create systems that function at given needs.

RWH also offers broader environmental gains in terms of drawing the consumption away from treated water supply sources and community environmental footprints (Rahman et al., 2014). In this sense, RWH systems should be integrated into landscape design to maximize collection from various surfaces (Chao-jun et al., 2018). It also allows for the determination of RWH potential through rooftop data with the aid of Geographic Information System (GIS) techniques (Yükselir et al., 2019; Kalıpcı et al., 2021; Uslu and Tuğcu, 2023). The dual use of the RWH in cities and agriculture, particularly in water-scarce regions like Antalya, makes this resource more critical for good water management (Ertop et al., 2023). A review of RWH systems indicates that these systems have the potential to save from 20% up to 65% of potable water and reduce the amount of stormwater runoff by up to 91% (Teston et al., 2022). Even in low rainfall areas like Barcelona in Spain, RWH has been effective for non-potable usages. In India, research into a decentralized water system that combined RWH with wastewater reclamation systems provided a sustainable solution that could meet 39% of campus water needs (Zang et al., 2021).

Research on the technical and financial feasibility of RWH at the Federal University of Para, Brazil underlined that it has potential significant savings in potable water due to its nondrinking purposes. However, the Cost-effectiveness depended on the building type and demand (Cardoso et al., 2020). In Malayer University, Iran, the RWH system was found capable of storing over 10000 cubic meters per year. It was very useful for irrigation in an arid condition for landscaping in a very sustainable way (Saeedi and Goodarzi, 2018). Research undertaken at Valle de las Palmas, Mexico proposed RWH

systems to take advantage of winter rains for campus landscaping by demonstrating good water management in a semi-arid region (Ravelo-García et al., 2023).

Starting with campuses, RWH systems have become examples of attention towards the role in water conservation and sustainability goals. The systems also provide on-campus educational opportunities for students in environmental sciences, engineering, and sustainability curricula, with the development of a commitment to sustainable practices within campus communities (Alharthi et al., 2019; El-Nwsany et al., 2019; Dawodu et al., 2022; Asaad et al., 2024). Possible educational programs involving students, faculty, and staff as well as the larger community have supplemented such green building standards with increased campus beautification using harvested rainwater for landscaping and other purposes.

Several studies focus on RWH practices on campuses. For instance, research has focused on rainwater management for irrigation purposes, toilet reserves, and landscaping (Saygın and Ulusoy, 2011). A study designed, tested and validated an RWH system for greenhouse irrigation capable of meeting peak irrigation demands to support student-managed gardens (Islam et al., 2013). Research on optimal storage solutions has also been explored in the literature, such as modeling appropriate sizes for RWH tanks (Temizkan and Kayılı, 2021). Other studies looked at the rooftop RWH potential through rainfall statistics (Anchan and Prasad, 2021; Ozeren Alkan and Hepcan, 2022), and the recharge of groundwater with collected rainwater (Ariyani et al., 2021). When there is a successful implementation of rainwater collector systems, capture rates have gone as high as 75% for non-potable uses such as toilet flushing and fire suppression (Dawodu et al., 2022), while the MyRAWAS system recorded a 60% reduction in potable water demand (Hanafiah, 2018).

In Mahasarakham University, rooftop RWH in Thailand had provided 7% of the conventional water needs, with potential cost savings in water treatment (Chaimoon, 2013). Other studies have identified that rainwater collected from campuses can easily be treated up to drinking water standards (Rahman et al., 2014). Again, followed by Anthony et al. (2020), RWH may be attractive in promoting green campus governance and sustainable development in higher education, with the treated rainwater being a safe alternative source (Han, 2013). Socioeconomic factors influencing the adoption of RWH on campuses serve to indicate that educational institutions can successfully use this system as a strategic water management tool, especially within regions with scarce water resources perspectives (Msuya, 2022).

RWH was known to be one of the feasible water solutions at universities in Turkey. Katip Celebi University research has identified several economic and environmental benefits of RWH (Hajjar et al., 2020).

In addition, numerous similar studies have been conducted at Sakarya University and Ege University, with demonstrated potential to reduce dependency on municipal supplies and conservation of water done by Ozeren Alkan and Hepcan 2022, and Eren et al. 2016, respectively. Economic analysis also allowed emphasizing that a significant percentage of irrigation needs could be covered with rooftop RWH. Besides, RWHS at universities in Turkey have also been helping reduce surface runoff and increasing the resiliency towards extreme weather events (Ulker and Tasci, 2022).

Studies at the Khulna University of Engineering and Technology (KUET) in Bangladesh illustrated the viability of small-scale systems for drinking water production within the campus (Chakrabarty and Mohiuddin, 2024), while that on the Isabela State University Campus in the Philippines demonstrated the viability of roof RWH systems to supplement water demand on a university campus (Abalos and Opiña, 2024). In this line, RWH was integrated with greening infrastructures such as rain gardens, at the University of British Columbia, Canada, for stormwater management and climate change adaptation (Zhou et al., 2024). In the same way, Wachemo University in Ethiopia and Ryerson University in Canada have complemented the effectiveness of RWH in meeting water needs within campuses during dry seasons and enhancing functional water retention (Abreham et al., 2024; Adity, 2024).

At Teuku Umar University, studies showed that cistern-based RWH systems supplied significant volumes of water for daily collection (Silvia et al., 2021). It is also found in research at the University of Pancasila that RWH with infiltration wells can meet additional water demand in arid seasons (Ariyani et al., 2021). Similarly, research at Amity University in Mumbai, and in other Indian universities, has focused on the advantages of RWH systems in dealing with water deficiency and improving the level of groundwater recharge (Ali and Jain, 2014; Akash et al., 2020; Mishra et al., 2020). Investigations at the University of Life Sciences, Estonia, focused on integrating RWH systems with new waste collection systems and emphasized how infrastructure on campus may be optimized for the handling of water in a better manner with the help of RWH practices (Seppor, 2024). A geospatial study in Islamabad presented the potentials of RWH in university rooftops by analyzing using GIS techniques and demonstrated how rainwater can be harnessed in urban campuses for sustainable water management (Saleem et al., 2024). The novelty of this article is twofold. First, it creates social awareness, and second, it does not require any sophisticated advanced tools to conduct the study. The novelty stems from its use of an installed RWH system to demonstrate environmental consciousness and raise awareness among university students. To address a gap in the Turkish literature, this study examines the role of rainwater harvesting systems in promoting sustainability on university campuses. A section of Istanbul Aydin University's Florya Central Campus has been chosen as a case study to assess how much rainwater can contribute to overall water consumption, and the second one is about data collection without using advanced tools.

2. Materials and Methods

2.1. Case Study Building

Istanbul Aydin University, a private university, is located in Istanbul. The university has several campuses across different neighborhoods, with the main campus located in Florya. The case study focuses on Block F, on the main campus. Figure 1 shows the map of the country and illustrates the map of Istanbul Aydin University. Additionally, Figure 2 provides a satellite image of Block F, and Figure 3 displays the rooftop of Block F.

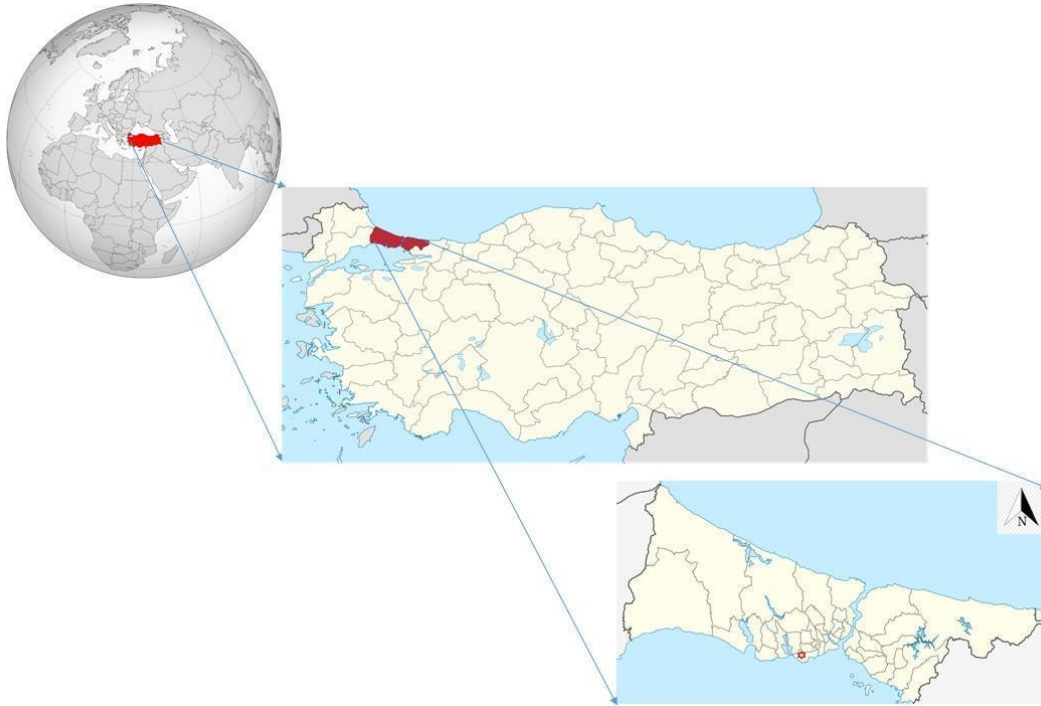


Figure 1. The location of Istanbul Aydın University on the Türkiye and Istanbul map (Modified from Wikimaps, 2023)



Figure 2. Satellite image of Block F (modified from Google Earth, 2024)



Figure 3. Rooftop of block F

2.2. Water Consumption of the Case Study Building

An analysis of the consumption meter data from the University's Department of Construction and Technical Affairs revealed that Block F has an average monthly water consumption of 53 m³, amounting to an annual consumption of 636 m³.

2.3. Climatic Conditions of the Case Study Building Location

Istanbul's unique and diverse climate is influenced by its geographical location at the intersection of Europe and Asia and its proximity to the Black and Mediterranean Seas. Table 1 presents meteorological data for Istanbul from 1950 to 2022, highlighting the significance of precipitation information for assessing potential rainwater collection.

Table 1. Rainfall data of Istanbul between 1950 and 2022 (Turkish State Meteorological Service)

Period	Average Monthly Total Rainfall (mm)
January	89.7
February	70.5
March	63.1
April	47.5
May	32.6
June	27.9
July	22.5
August	24.6
September	40.5
October	66.7
November	76.0
December	99.3
Annually	660.9

2.4. Determining the RWH Potential of the Case Study Building

To calculate the RWH potential of the roof of the selected block, the following equation is used (Gould and Nissen-Petersen, 1999):

$$S = R \times A \times Cr \quad (1)$$

Where S is the RWH potential (m³), R is monthly rainfall (m), A is roof area (m²), Cr is runoff coefficient.

Table 1 provides the rainfall data. The roof of Block F has a plan area of 695 m² and features a gable roof design. The ridge height is not significant enough to affect the area calculation. The roof is covered with sandwich panels made from galvanized iron sheets. Table 2 presents the runoff coefficients for other types of roof materials.

Table 2. Runoff coefficient for different roof types (AFPRO-UNICEF, 2006)

Roof Type	Runoff Coefficient
Galvanized Iron Sheet	0.90
Asbestos Sheet	0.80
Tiled Roof	0.75
Concrete	0.70

2.5. RWH System Components for the Case Study Building

A proposed RWH system for Block F involves straightforward yet effective equipment. The process begins on the roof, making the selection of roofing material critical. Metal roofs are preferred over wood or tile because they minimize dirt accumulation in shingle gaps and prevent rust when painted. In contrast, asphalt shingles can release chemicals over time, contaminating the water supply and reducing water quality, even with filtration.

Figure 4 illustrates the fundamental components of the rainwater harvesting system, showing the journey of harvested water from the roof to the storage tank.

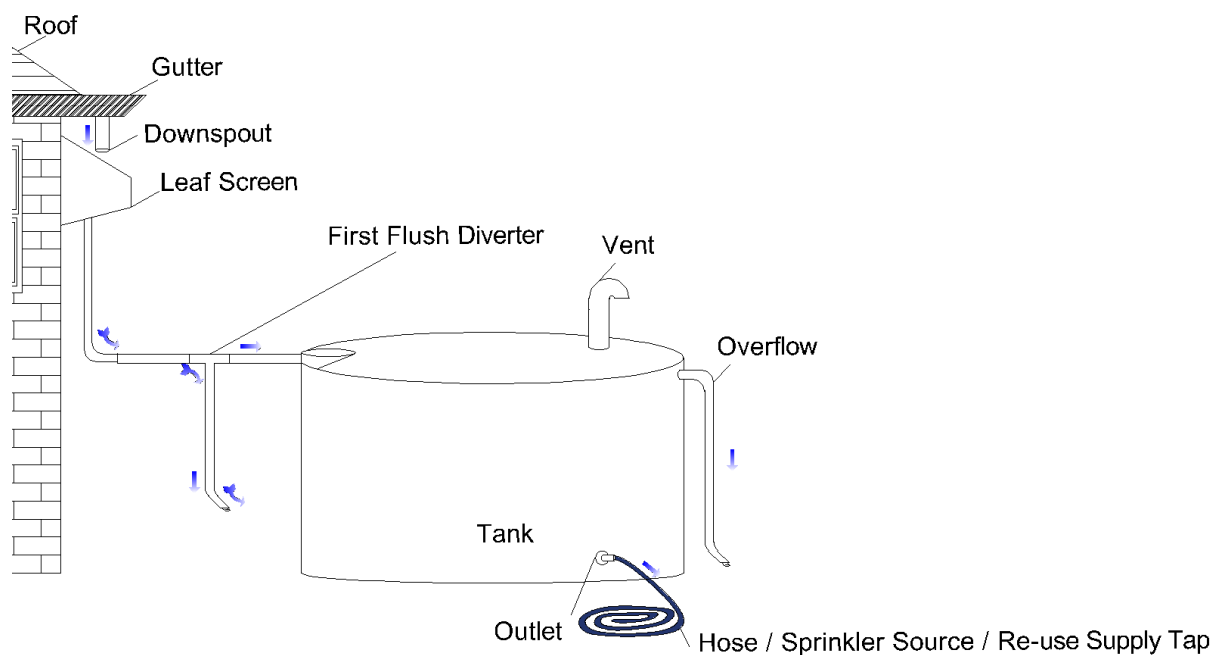


Figure 4. Fundamental RWH components (Muftuoglu and Oral, 2024)

Rainwater from the roof flows through gutters designed to handle heavy rain runoff, as shown in Figure 5 below. To prevent blockages caused by debris in the gutters, the mesh leaf screen filters out larger particles such as leaves and twigs. The screen captures most contaminants, but smaller particles may still pass through. With a mesh size that filters particles larger than 1-2 mm, the screen ensures that cleaner water flows into the storage tank while preventing downspout blockages. The flow rate that this design can manage is dependent on the dimensions and size of the mesh and screen, making it adaptable for varying levels of rainfall intensity.



Figure 5. The leaf screen

The water travels through a first flush diverter en route to the tank, efficiently eliminating heavy pollutants that the leaf screen would have overlooked. Figure 6 illustrates this diverter.

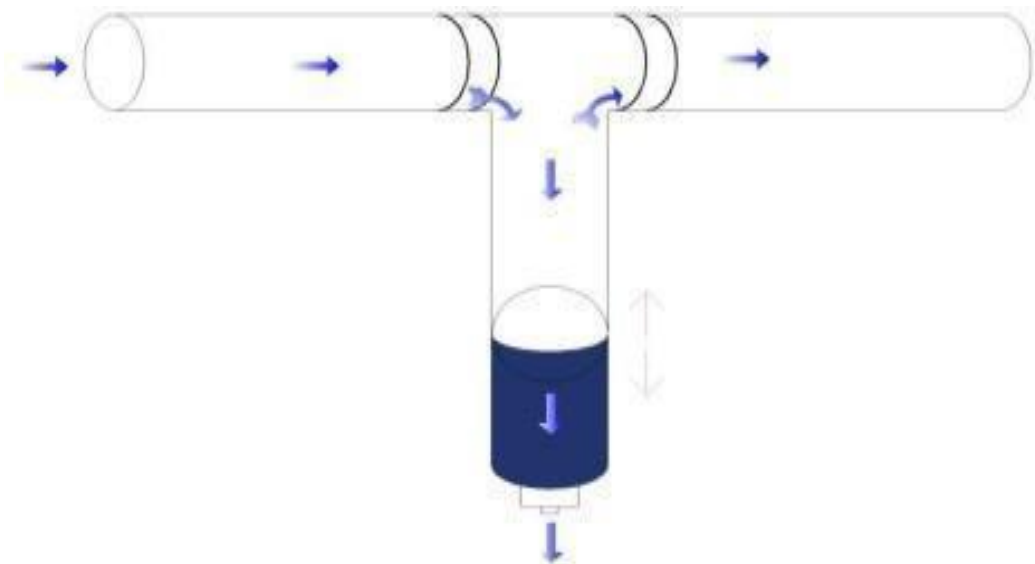


Figure 6. The first flush diverter (Müftüoğlu, 2024)

Utilizing a ball valve within a vertical pipe, the first flush diverter serves to obstruct and segregate contaminated water from the clean flow directed toward the tank. Once the ball valve reaches capacity, it seals off the pipe, effectively trapping the majority of dirt and impurities. The collected water can then be used for irrigation purposes with a slow-release valve or nozzle. While this method may not achieve complete purity, it significantly enhances water quality. Further improvements can be made through additional filtration, desalination, and purification processes.

Water storage tanks, made from various materials such as plastic, concrete, or metal, share several fundamental components. Although the inflow pipe is not critical for water transport, the primary essential component is the access port for maintenance, which facilitates cleaning and repairs. The second crucial element is the ventilation opening, which relies on fluid mechanics principles to prevent vacuum formation and implosion when water enters or exits. The third element is the overflow opening equipped with a pipe equal to or larger than the inflow, preventing pressure buildup during heavy rainfall. This overflow can also be connected to adjacent tanks to provide additional storage capacity and prevent overflow.

The fourth essential component is the outlet used for distribution or various applications. For instance, a hose can be used for irrigation, or the system can be connected to devices like sprinklers through pumping facilities. The tank material must withstand environmental factors such as humidity and sunlight and be resistant to chemicals and biological growth that could compromise water quality, such as mold and algae. The presence of sludge at the tank's base can impede efficiency, so positioning the outlet above the sludge or at the base helps prevent clogging issues. Additionally, extending the inlet pipe beyond the first flush diverter, with a gap, minimizes the impact of sludge accumulation. The essential components of the storage tank are presented in Figure 7.

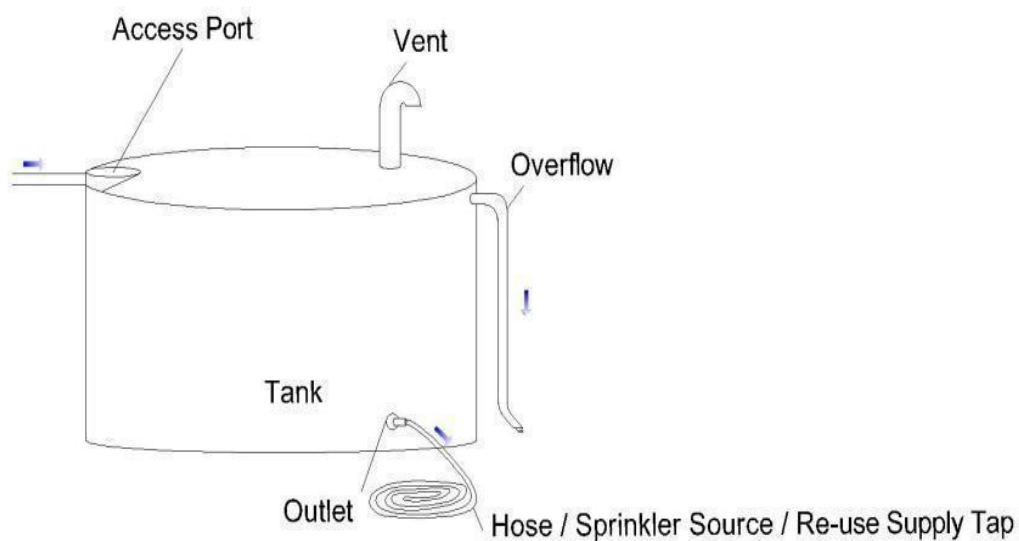


Figure 7. The tank and the related components (Müftüoğlu, 2024)

3. Results

The network water used in Block F is only for indoor purposes (such as toilets and cleaning) and does not include any garden irrigation or similar activities. Therefore, water consumption for this block remains consistent throughout the seasons. The rainwater harvesting potential of Block F is calculated using Equation 1. When considering an annual average precipitation of 660.9 mm, a roof surface runoff coefficient of 0.9 (galvanized iron plate), and a roof area of 695 m², the monthly and annual rainwater harvesting potential for Block F is presented in Table 3.

Table 3. Monthly and annual rainwater harvesting potential for Block F

Period	Rainwater Harvesting Potential (m ³)
January	56.10
February	44.09
March	39.46
April	29.71
May	20.39
June	17.45
July	14.07
August	15.38
September	25.33
October	41.72
November	47.53
December	62.11
Annually	413.39

Various statistical analyses can be utilized to explore patterns, trends, and variations in rainwater harvesting potential across different months. Descriptive statistics serve as essential tools for summarizing and understanding the characteristics of a dataset. These include measures such as the mean, median, standard deviation, range, variance, coefficient of variation (CV), skewness, and kurtosis. The mean, calculated as the sum of all values divided by the number of observations, provides a central or typical value for the dataset. In the context of rainwater harvesting, the mean monthly value represents the typical potential for rainwater harvesting that can be expected in an average month. This information is valuable for planning and resource allocation in rainwater harvesting systems. A mean value that deviates significantly from expectations may suggest generally lower or higher rainfall throughout the year, impacting harvesting strategies.

$$Mean(\mu) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

Where:

x_i is the individual value (e.g. monthly rainwater potential)

n is the number of values (12 for months in this case)

The median represents the middle value of a dataset when the values are arranged in ascending order. If the dataset contains an even number of values, the median is calculated as the average of the two middle numbers. Unlike the mean, the median is less influenced by extreme values or outliers, making it a more robust measure when the data includes months with exceptionally high or low rainwater harvesting potential. For instance, if one month exhibits unusually high harvesting potential, the mean may become skewed, but the median will still provide a representative value for a typical month. When the median is close to the mean, this indicates a relatively symmetrical distribution of rainwater harvesting potential across the months. To calculate the median, data are to be ordered in ascending sequence and the value of the middle determined. If the number of data is odd, then the median is the value of the middle. If it is even, then median is taken as the average value of the two middles.

Standard deviation is the measure of the dispersion of values that fall outside the mean of a data set. The higher the standard deviation, the greater the variability; if the standard deviation is low, it will be when the values become more concentrated around the mean. This measure provides an insight into the variability of rainwater harvesting potential in time. A high standard deviation suggests substantial fluctuations in the value of harvesting potential between months, and this would have to be met with more flexible planning strategies.

On the other hand, if the standard deviation is small, it means that rainwater harvesting potential does not vary widely, hence making the design and management of the system less complicated. When huge variations in potential are considered, then the standard deviation becomes of utmost importance to be fully prepared for months when rainfall might be way higher or lower than the average.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (3)$$

Where:

σ is the standard deviation

μ is the mean

x_i is the individual value

n is the number of values

The range is a measure of the spread in a dataset. It is understood to be, merely put, the difference between the maximum and minimum values. A measure of the spread indicates the total variation present within a dataset. In rainwater harvesting, therefore, the range stretches to mean how far apart the months of wettest and driest rainfall have been. This information is critical for planning how much storage capacity should be developed and for developing strategies on usage. The broad range of 14.07 m³ in July to 62.11 m³ in December indicates that storage solutions must be adaptable to meet the potential variance in rainwater collection. Knowing the range furthers the ability to anticipate and manage fluctuations in rainwater harvesting potential throughout the year.

$$Range = x_{max} - x_{min} \quad (4)$$

Where:

x_{max} is the maximum value

x_{min} is the minimum value

Variance is, in some sense, the average of the squared deviations from the mean value, and it serves as one way to quantify the dispersion of individual data from the mean. Whereas the standard deviation quantifies the same dispersion as the units of the variable being measured (e.g., m³), variance quantifies dispersion about squared units but generally yields a more abstract, yet equally valid, interpretation of variability. It forms a very important basis for quantifying overall variability in a dataset. Other statistical analysis depends on its calculation. In rainwater harvesting, a high variance would indicate that for some months during the year, values are well below the mean. This, in turn, signifies an uneven distribution of the harvesting potential throughout the year. Variability like this often affects system planning and resource management strategies.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (5)$$

Where:

σ^2 is the variance

μ is the mean

x_i is the individual value

n is the number of values

The coefficient of variation (CV) is simply a statistical measure that expresses the ratio of the standard deviation to mean as a percentage. In essence, this parameter provides a relative measure of the magnitude of variation in a dataset concerning its mean. The CV is useful in comparing variability across different data sets that are measured using different units or scales. In the context of rainwater harvesting, CV quantifies the variability in the harvesting potential relative to the mean monthly value. A high CV implies very large variability in the month-to-month rainwater harvesting potential that may be in need of planning strategies for balancing the water collection and usage throughout the year to maintain consistency in resource management.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 \quad (6)$$

Where:

σ is the standard deviation

μ is the mean

Skewness is a statistical metric used to describe the asymmetry of a data distribution. A skewness value near zero indicates a symmetrical distribution, while positive or negative skewness reveals an asymmetrical pattern. Recognizing the skewness in data is essential for understanding its central tendency. In the context of rainwater harvesting potential, positive skewness, characterized by a longer right tail, indicates that certain months have unusually high harvesting potential. In contrast, negative skewness suggests that a few months display much lower potential. The presence of positive skewness, for example in months such as December and January, suggests significantly elevated rainwater harvesting potential, which may influence strategies for resource distribution and management.

$$Skewness = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right)^3 \quad (7)$$

Where:

n is the number of values

μ is the mean

σ is the standard deviation

x_i is the individual value

Kurtosis is a statistical measure that describes the "tailedness" of a data distribution, indicating whether the dataset has heavier or lighter tails compared to a normal distribution. High kurtosis suggests the presence of more outliers, or data points that deviate significantly from the mean. This measure is particularly valuable for identifying whether extreme months, characterized by unusually high or low rainwater harvesting potential, occur more frequently than anticipated. Understanding kurtosis helps in preparing for abnormal rainwater harvesting events. A high kurtosis would imply the occurrence of some months with exceptionally high or low harvesting potential, necessitating contingency plans to accommodate such extremes.

$$Kurtosis = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (8)$$

Where:

n is the number of values

μ is the mean

σ is the standard deviation

x_i is the individual value

The results of the descriptive statistics for the rainwater harvesting potential data are given in Table 4 below.

Table 4. Descriptive statistics for the rainwater harvesting potential for Block F

Statistic	Value
Mean	34.45 m ³
Median	35.59 m ³
Standard Deviation	16.37 m ³
Variance	267.92 m ⁶
Range	48.04 m ³
Minimum	14.07 m ³
Max	62.11 m ³
Coefficient of Variation	47.52%
Skewness	0.24
Kurtosis	-1.23

In general, the average potential for rainwater harvesting in facilities is around 34.45 m³, which is representative of rainwater collected in a month on average. It gives an overall idea about the potential water availability throughout a year. Designers need to consider the storage capability to be able to hold a minimum of 34.45 m³ every month by providing sufficient capacity through most months.

The median is 35.59 m³, slightly higher than the mean, indicating that half of the months have a rainwater harvesting potential above this value and half below. Since the median is close to the mean value, the distribution of RWH would, therefore, be relatively symmetric with no major skewness. This correspondence between the mean and median is close enough to reassure that, in fact, the months more or less equidistribute between high and low values without any notable outliers that would distort the data.

The standard deviation is 16.37 m³, which shows the standard deviation of the variability in monthly rainwater harvesting potential to be simply moderate. That is to say, the potential is different from the mean value by approximately 16.37 m³. Hence, some months may have huge potentials that may be far above or below the average. This variability speaks to the need for a systemic design versatile enough to handle those months of high or low water collection. This therefore means one would have to plan for about 16.37 m³ of deviation from the mean to ensure efficiency in storage and resource allocation.

The variance, representing the dispersion of the data set, is 267.92 m⁶, representing the deviation of the monthly rainwater harvesting potential from the mean. This is a great dispersion, and since the standard deviation suggested moderate variability, that also argues for adaptable system design due to wide fluctuation in rainwater harvesting potential.

The range from the maximum rainwater harvesting potentials in December at 62.11 m³ and minimum potential in July at 14.07 m³, is 48.04 m³. This large variation shows the full swing of seasonal variation from very wet to very dry months. For this reason, the system needs to handle volumes of rainwater that are far higher during December, while needing a significantly lower capacity in drier months such as July.

July has the lowest rainwater harvesting potential, which is 14.07 m^3 . This would usually be representative of the driest month and is very critical in planning for those periods when there is low water availability. During these months-for example, July-the rainwater harvesting systems should be able to be supported by other sources of water, since the harvesting potential will be very low.

Since the highest rainfall is in the month of December, the harvesting potential yields a maximum value of 62.11 m^3 ; hence, it is the month of highest rainwater availability. Maximum collection should be done during such high-potential months to store excess rainwater arising in these months for use during low-potential months-for example, July. This is where planning should be done on how to utilize effectively the water stored from high-potential months and manage it for the months with low rainwater harvesting potentials.

The coefficient of variation, as a variability measure relative to the mean in percent, is 47.52%, stating that there is quite a high variation in rainwater harvesting potential for each month. Because of this high variability, the rainwater harvesting system should be designed keeping in mind the fluctuations of the potential. A flexible system is required with adaptable storage capacity in order to handle peak and low collection months. This is very important for surplus storage during the high potential months like December, reserving some in the months with the lowest potential like July, so that it will be able to operate the whole year efficiently.

The former skewness value, which is 0.24, indicated slight positive asymmetry about the distribution of monthly rainwater harvesting potential. Even though it is close to being symmetric, the longer right tail would indicate that there are a few months with higher-than-average harvesting potential. This slight positive skewness would suggest that system design should recognize months of unusually high collections of rainwater. For the most part, however, this distribution is reasonable, with a balance that will enable reliable predictions and planning using the mean and standard deviation.

The kurtosis value of -1.23 indicates that the distribution has lighter tails (platykurtic) than a normal distribution and is less likely to generate extreme values either at low or high levels. It is thus a very stable data set with few outliers or extreme months. Hence, for design purposes, the system can be planned according to average conditions rather than overestimating those few high or low values, which enables efficient resource and storage planning.

In general, the distribution of rainwater harvesting potential is very uneven, with 48.47% coefficient of variation and spherical distribution of 48.04 m^3 .

This variability underscores the need for a system design that can accommodate both peak and low months. Storage capacity must be sufficient to handle the highest potential months, such as December, while alternative sources or water-saving strategies may be necessary during low-potential months like July. A system designed to handle fluctuations around the mean of 34.45 m^3 , and prepared for the extremes indicated by the range and standard deviation, would be ideal for efficient rainwater management.

The skewness value of 0.11 confirms that the data distribution is approximately symmetric, indicating no significant outliers that could distort the overall pattern. This symmetry allows for system design to focus on central tendencies, such as the mean, ensuring more predictable and efficient management of rainwater harvesting potential.

The kurtosis value of -1.25, reflecting a relatively flat distribution, indicates that extreme outliers are unlikely to occur. With fewer outliers, the system's capacity can be more predictable and optimized, reducing the need to overcompensate for rare extreme fluctuations. This allows for balanced and efficient planning that prioritizes average conditions over rare events.

In Figure 8, compensation, surplus, and deficit of harvested rainwater concerning water consumption is presented.

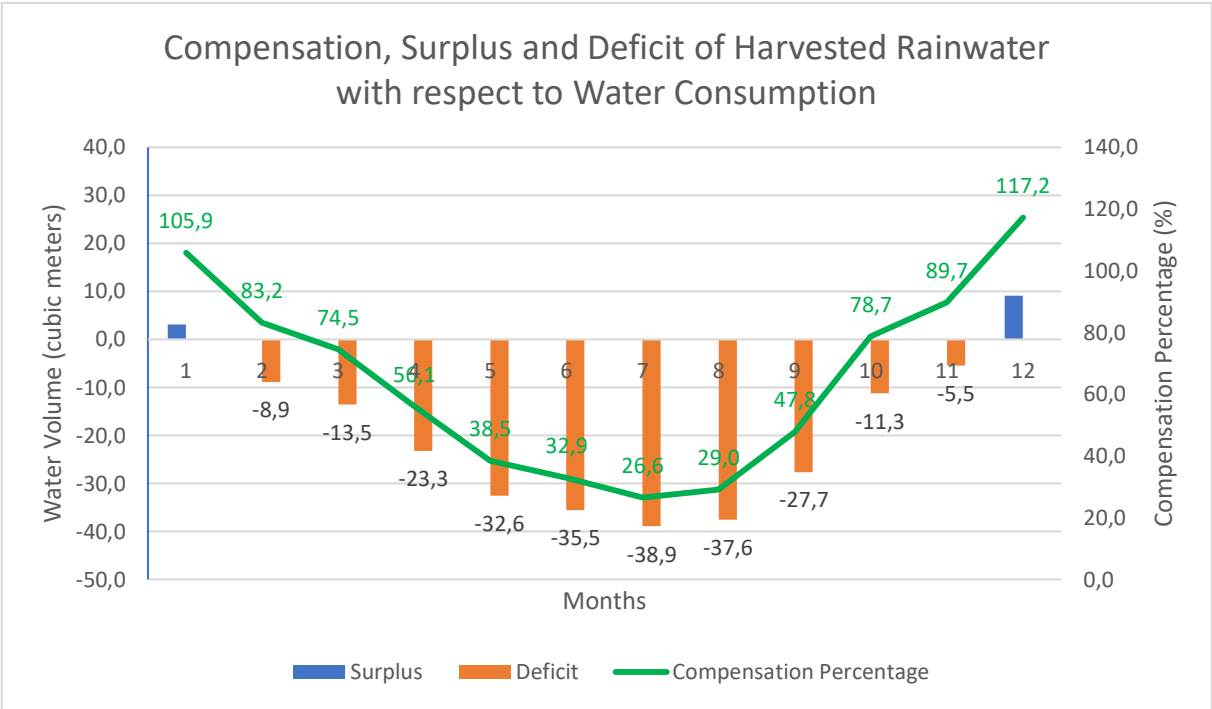


Figure 8. Compensation, surplus, and deficit of harvested rainwater concerning water consumption

If the annual water consumption for Block F is considered as 636 m³, in that case, the ratio of the annual city water consumption in this block being met with harvested rainwater will be 65%.

As previously mentioned in the introduction section, the novelty of the study is relevant to creating an environmental consciousness and awareness on-site for university students throughout their studies.

Therefore, to fill this gap in the literature for Turkey, we compared our results with the literature, but unfortunately, we could not find any study findings covered as ours. However, for the technical comparison, we found a study conducted at Zonguldak Bulent Ecevit University Campus (Özölçer, 2016), that RWH systems can be used to lower the campus area's water usage from 22500 m³. Similar to our study findings, a galvanized iron plate at one of the university campuses in Izmir uses a roof surface runoff coefficient of 0.9. The authors reported that 16606.65 tons of water could be collected, respectively, based on a calculation of the amount of water that could be collected from precipitation on rooftops (Hajjar et al., 2020). An estimated 16570.30 m³ of rainwater must be collected from the rooftops of 24 buildings located on the Ege University campus in Izmir. The results of this study indicate that the research area may provide 11% of the water required for irrigation of the existing green spaces and 20% of the water required for irrigation from April to October due to its potential for year-round rainwater gathering (Ozeren Alkan and Hepcan, 2022). According to research findings evaluating the potential as a resource for rooftop rainwater collection, the Jordanian districts of Al-Jubiha and Shafa-Badran could potentially yield 1.17 and 0.526 million m³/year, respectively (Al-Houri et al., 2014). Anchan and Prasad (2021) stated that an Indian investigation revealed the possibility of collecting 113678.9 m³ of rainwater from the rooftops of 19 building units of South Indian University. A study carried out in Ethiopia claims that 320 sizable public entities were selected and divided into 11 groups. Of these, 25–30% of the 588 representative rooftops were digitalized, and a rainfall dataset covering ten years was used to assess the potential RWH volume. When comparing the resulting RWH potential to the volume of water utilized, it is possible to supply up to 2.3% of the yearly supply of potable water. Reusing only within one's company can yield sufficiency rates between 0.9 to 649% (Adugna et al., 2018).

4. Discussion and Conclusion

Universities' RWH systems can serve as an example for instructional goals. It provides practical, hands-on instruction in environmental sciences and sustainable environment engineering. RWH systems give academic institutions a special chance to promote sustainability by allowing students to be involved in all phases of the process, from preparation and implementation to monitoring. The results obtained in this study are similar to the results obtained by Saygın and Ulusoy (2011); Alharthi et al. (2019); Dawodu et al. (2022); Asaad et al. (2024); as a result of the evaluation made in the literature.

The next generation of environmental leaders and practitioners will benefit greatly from the practical skills acquired via its hands-on implementation. Because they can increase economic growth in addition to reducing water waste. Universities that deploy RWH systems have the chance to set an example for other organizations and communities. Additionally, by demonstrating the benefits of RWH methods from both a practical and financial standpoint, universities will be able to influence how these practices are implemented throughout society. The widespread use of this phenomenon has the potential to yield significant improvements in the implementation of various urban water management measures, hence enhancing the overall security and resilience of our water resources.

Overall, the vast amount of university research on RWH, especially in Turkey, demonstrates its many advantages, ranging from increased environmental sustainability to financial savings and better water quality. Institutes can promote long-term sustainability objectives in addition to meeting immediate water requirements by incorporating RWH into campus infrastructure. Adopting RWH techniques is crucial for fostering sustainability and resilience in higher education as institutions deal with issues like water scarcity and climate change. In addition to these advantages, RWH helps institutions in the financial sustainability domain by offering low costs. Although using city water on campus requires some infrastructure and costs, this approach offers sustainability. One example of social sustainability is environmental awareness, particularly among students in higher education.

The results of this study show that a significant proportion (around 65%) of annual city water consumption in Block F at Istanbul Aydin University is offset by harvested and potentially commercial-grade rainwater. This illustrates the ability of RWH systems to significantly reduce dependence on municipal water resources, thus supporting local conservation and sustainability efforts throughout the university community.

The data source of the study indicates that rainwater collection can be a lifesaver throughout most of the year and emphasizes how effective it can be in supplying water needs. Because of this, high compensation percentages in Months 1 and 2 further demonstrate the effectiveness of rainwater collection during these months, while Months 11 and 12 highlight the possibility of achieving even greater surplus amounts than requests through such systems. Although MS3–10 problems are present throughout this time, this indicates potential areas for rainwater collecting and storage system upgrades. By making such infrastructural and technological investments, these shortages might be reduced, maximizing the advantages of rainwater gathering and supplying more water during dry periods. The fact that this study was conducted without using any sophisticated or advanced datalogger can be shown as the novelty of the article as it sets an example for everyone interested in this subject.

Infrastructure investments can be expensive initially, but over time, RWH will fulfill these financial objectives since water rates will drop and less money will be used to cover possible stormwater management expenses. Additionally, this balances the amount of water utilized for municipally treated waters' distribution and treatment.

Institutions that are inspired by this study and will use it as a model can first figure out how much water they need on campus in addition to city water, then determine which roofs can be used to set up the system, and finally develop a plan that outlines the steps for replicating the data collection techniques used in this study.

5. Limitations of the Study

The most fundamental limitation of this study is the climate and geographical features where the study was carried out. The technical characteristics of the block employed in this investigation are another limitation. Block F is not like the other buildings on the Istanbul Aydın University campus. An additional limitation is the short collection time of the data, which implies that it is not very old. The building of Block F is scheduled to begin in the early 2010s. In terms of technology, more sophisticated dataloggers might have been used to collect the data.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest between them.

Summary of Researchers' Contribution Rate Declaration

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

- Abalos MS., Opiña PV. An analysis of roof rainwater harvesting: A catalyst to water demand management. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis* 2024.
- Abreham T., Tesseme T., Mulugeta E. Assessment of rooftop rainwater harvesting as an alternative source of water supply for higher institutes in Ethiopia: The case of Wachemo University, Main Campus. In *Degradation and Water Management in Ethiopia*. Springer 2024.
- Adity AT. Rooftop rainwater control-Combining storage tank, vegetation, and rooftop retention. Ryerson University Thesis 2024.
- Adugna D., Jensen MB., Lemma B., Gebrie GS. Assessing the potential for rooftop rainwater harvesting from large public institutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018; 15(2): 336.
- AFPRO-UNICEF. Manual on construction and maintenance of household-based rooftop water harvesting systems. Report prepared by Action for Food Production (AFPRO) for United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF) 2006.
- Akash N., Nandsingh PP., Satpalsingh PV., Raval P. Model of Rainwater Harvesting System 2020.
- Al-Houri ZM., Abu-Hadba OK., Hamdan KA. The potential of rooftop rainwater harvesting as a water resource in Jordan: Featuring two application case studies. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering* 2014; 8(2): 147-153.
- Ali I., Jain S. Design of rooftop rainwater harvesting structure in a university campus. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2014; 3(8): 15652-15653.
- Alkan MO., Hepcan Ş. Determination of rainwater harvesting potential: A case study from Ege University. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022; 19(2): 259-266.

- Alharthi A., Spichkova M., Hamilton M. Sustainability requirements for eLearning systems: A systematic literature review and analysis. *Requirements Engineering* 2019; 24: 523-543.
- Anchan SS., Prasad HS. Feasibility of rooftop rainwater harvesting potential: A case study of South Indian University. *Cleaner Engineering and Technology* 2021; 4: 100206.
- Anthony B., Majid M., Romli A., Anwar S. Green campus governance for promoting sustainable development in institutions of higher learning: Evidence from a theoretical analysis. *World Review of Science Technology and Sustainable Development* 2020; 16(2): 141.
- Ariyani D., Wulandari A., Juniati A., Arini RN. Rainwater harvesting for water security in campus (case study: Engineering Faculty in University of Pancasila). *Journal of Physics: Conference Series* 2021; 1858(1): 012020.
- Asaad M., Hassan GF., Elshater A., Afifi S. Comparative study of green neighbourhood assessment tools for assessing existing urban form in MENA region. *Environmental Impact Assessment Review* 2024; 106: 107502.
- Chaimoon N. The observation of rainwater harvesting potential in Mahasarakham University (Khamriang Campus). *Advanced Materials Research* 2013; 807: 1087-1092.
- Chakrabarty R., Mohiuddin KABM. Techno-economic analysis of a small-scale rainwater harvesting system for producing drinking water at KUET campus. *Proceedings of the International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development* 2024.
- Corrêa JDP., Fernandes LL., Blanco CJC., Neves RR. Proposal of rainwater harvesting coefficient (RWHC) for determination of effectively usable rainfall depth, relevant to rainwater harvesting systems design. *RBRH* 2018; 23: e15.
- Dawodu A., Dai H., Zou T., Zhou H., Lian W., Oladejo J., Osebor F. Campus sustainability research: Indicators and dimensions to consider for the design and assessment of a sustainable campus. *Heliyon* 2022; 8(12).
- El-Nwsany RI., Maarouf I., Abd el-Aal W. Water management as a vital factor for a sustainable school. *Alexandria Engineering Journal* 2019; 58(1): 303-313.
- Eren B., Aygün A., Likos S., Damar Aİ. Yağmur suyu hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe kampüs örneği. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES)*, 3-5 Kasım, Antalya, 2016.
- Ertop H., Kociğcka J., Atilgan A., Liberacki D., Niemiec M., Rolbiecki R. The importance of rainwater harvesting and its usage possibilities: Antalya example (Turkey). *Water* 2023; 15(12): 2194.

- Ferreira A., Sousa V., Pinheiro M., Meireles I., Silva CM., Brito J., Mateus R. Potential of rainwater harvesting in the retail sector: A case study in Portugal. *Environmental Science and Pollution Research* 2023; 30(14): 42427-42442.
- Google Earth. Istanbul Aydin University Map 2024.
- Gould J., Nissen-Petersen E. Rainwater catchment systems for domestic supply. 1999.
- Hajjar H., Kılınç İK., Ülker E. Rainwater harvesting potential in public buildings: A case study in Katip Celebi University. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 2020; 9(Özel Sayı): 167-172.
- Han M. Rainwater: Drain? Or collect?, that is the question. *Environmental Engineering Research* 2013; 18(2): 55-56.
- Hanafiah M. Rainwater harvesting system (MYRAWAS): Towards upscaling water-conserving practice at university level. *Environment & Ecosystem Science* 2018; 2(1): 10-12.
- Islam S., Lefsrud M., Adamowski J., Bissonnette B., Busgang A. Design, construction, and operation of a demonstration rainwater harvesting system for greenhouse irrigation at McGill University, Canada. *HortTechnology* 2013; 23(2): 220-226.
- Kalıpcı E., Başer V., Genç N. Coğrafi bilgi sistemi kullanarak yağmur suyu hasadının değerlendirilmesi: Giresun Üniversitesi kampüs örneği. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* 2021; 10(1): 49-58.
- Mishra SS., Shruthi BK., Jeevan Rao H. Design of rooftop rainwater harvesting structure in a university campus. *International Journal of Recent Technology and Engineering* 2020; 8(5): 3593-3598.
- Msuya O. Rainwater harvesting as a strategic planning management of COVID-19 pandemic among public secondary schools in Tanzania. *East African Journal of Education and Social Sciences* 2022; 3(3): 83-93.
- Muftuoğlu TD., Oral HV. The hydraulic approach relevant to circularity on sustainable water catchment. In: *Nature-based Solutions for Circular Management of Urban Water*. Springer, Cham 2024; 353-370.
- Müftüoğlu TD. Evaluating rainwater harvesting potential of concrete and tile roofings for detached houses in Aydın, Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1096-1115.
- Özölçer İH. Rainwater harvesting analysis for Bülent Ecevit University central campus. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 2016; 6(1): 22-34.
- Rahman S., Khan M., Akib S., Din N., Biswas P., Shirazi S. Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality. *The Scientific World Journal* 2014; 2014: 1-10.
- Ravelo-García A., Castañon-Bautista MC., Pitones-Rubio JA. Rainwater harvesting at universities: Case study Valle de las Palmas. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability* 2023; 5(2): 1-11.
- Saeedi I., Goodarzi M. Rainwater harvesting system: A sustainable method for landscape development in semiarid regions, the case of Malayer University campus in Iran. *Environment, Development and Sustainability* 2020; 22(2): 1579-1598.

- Saleem MM., Hussain A., Hanif H. Assessment of rooftop potential for solar energy and rainwater harvesting in Islamabad: A geospatial approach towards sustainable urban development. *IJIST* 2024; Special Issue: 97-112.
- Samzadeh M., Din N., Abdullah Z., Mahyuddin N., Ismail M. Feasibility of vertical rainwater harvesting via in-situ measurement of wind-driven vertical rain loads on building facades in a tropical climate. *International Journal of Built Environment and Sustainability* 2021; 8(3): 27-45.
- Saygın N., Ulusoy P. Sürdürülebilir kampüs tasarımı için yağmursuyu yönetimi ve yeşil altyapı teknikleri. *Politeknik Dergisi* 2011; 14(3): 223-231.
- Seppor E. Jäätmete liigiti kogumise efektiivsuse hindamine Eesti Maaülikooli näitel. 2024.
- Silvia CS., Ikhsan M., Safriani M., Gusmilia TP. Efficiency of rainwater harvesting at the roof campus buildings. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology* 2021; 1(3): 17-22.
- Temizkan S., Kayılı MT. Yağmur suyu toplama sistemlerinde optimum depolama yönteminin belirlenmesi: Karabük Üniversitesi sosyal yaşam merkezi örneği. *El-Cezeri* 2021; 8(1): 102-116.
- Teston A., Piccinini Scolaro T., Kuntz Maykot J., Ghisi E. Comprehensive environmental assessment of rainwater harvesting systems: A literature review. *Water* 2022; 14(17): 2716.
- Turkish State Meteorological Service. Istanbul. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=ISTANBUL>, last access: 26/09/2023.
- Uslu A., Tuğcu A. Üniversite kampüsünde yağmur suyu hasadı potansiyelinin CBS tabanlı değerlendirilmesi: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi örneği. *Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Yenilikçi Çalışmalar* 2023; 25-43.
- Ulker E., Tasci H. Determining rainwater harvesting potentials in municipalities by a semi-analytical method. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society* 2022; 71(2): 248-260.
- Wei C., Zou S., Tao B., Wang W. Research about rain flood management in campus landscape design. 2017 International Seminar on Artificial Intelligence, Networking and Information Technology (ANIT 2017) 2017; 51-57. Atlantis Press.
- Wikimaps. Map of Istanbul. 2023. Yükselir H., Ağaçasapan B., Çabuk A. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çatıların yağmur suyu toplama kapasitesinin hesaplanması. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies* 2019; 1(2): 16-26.
- Zang J., Kumar M., Werner D. Real-world sustainability analysis of an innovative decentralized water system with rainwater harvesting and wastewater reclamation. *Journal of Environmental Management* 2021; 280: 111639.
- Zhou J., Wang L., Ferdous N., Huang S. Rain down the drain: UBC Vancouver green rainwater infrastructure performance monitoring and future weather event modelling. 2024.

Examining Prime Numbers/Components of Diophantine $D(\mp 3)$ Sets

Özen ÖZER^{1*}

¹Kırklareli University, Faculty of Science and Arts, Mathematics Department, Kırklareli

¹<https://orcid.org/0000-0001-6476-0664>

*Corresponding author: ozenozer39@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 18.08.2024

Accepted: 17.11.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Diophantine equations
Sylvester's result and equivalence
Gauss' and Eisenstein's lemma
quadratic reciprocity law
Modular computation and
diophantine sets
Legendre symbol and quadratic
remainders

ABSTRACT

Mathematicians have long been interested in Diophantine sets. They have good ways to analyze the calculations and results. The aim of this paper is to explore the enigmatic world of diophantine $D(\mp 3)$ set shapes, revealing a new emphasis on its complex specifications and deep correlations. The Diophantine $D(\mp 3)$ sets, defined as integer values in this work, represent significant domain ripe for examinations. Our study analyzes these sets in detail, ignoring their cardinals, and aims to reveal hidden patterns and unique characteristics. By scrutinizing their structure, our intention is to reveal the high mathematics content of these collections. In our discussion we highlight basic principles of basic algebraic number theory, invoking the law of quadratic reciprocity, Diophantine equations, and the enduring grace of major mathematicians like Gauss, Dirichlet and Fermat. These tools and logic serve as viewers of our discussion, ultimately Diophantine provides a deeper appreciation of the concepts in the $D(\mp 3)$ sets and their importance in the broader mathematical terrain.

Diophantine $D(\mp 3)$ Kümelerinin Asal Sayılarını/Bileşenlerini İnceleme

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.08.2024

Kabul tarihi: 17.11.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Diophantine denklemleri
Sylvester'in sonucu ve denklik
Gauss'un ve Eisenstein'in lemması
İkinci dereceden karşılıklılık yasası
Modüler hesaplama ve diophantine
kümeleri
Legendre sembolü ve ikinci dereceden
kalanlar

ÖZ

Matematikçiler uzun zamandır Diophantine kümeleriyle ilgilenmektedir. Hesaplamaları ve sonuçları analiz etmek için iyi yollara sahiptirler. Bu makalenin amacı, Diophantine $D(\mp 3)$ küme şekillerinin gizemli dünyasını keşfetmek ve onun karmaşık özelliklerine ve derin ilişkilerine yeni bir vurgu yapmaktır. Bu çalışmada tam sayı değerleri cinsinden tanımlanan Diophantine $D(\mp 3)$ kümeleri, incelemeler için önemli bir alanı temsil eder. Çalışmamız, bu kümeleri ayrıntılı bir şekilde analiz ederek kardinal sayılarını göz ardı etmekte ve gizli kalıpları ile benzersiz özellikleri ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu tip kümelerin yapılarını inceleyerek, bu tarz çalışmaların yüksek matematik içeriğini ortaya çıkarmak hedeflenir. Tartışmamızda, temel cebirsel sayı teorisinin temel prensiplerini vurguluyor, ikinci dereceden karşılıklılık yasasını, Diophantine denklemlerini ve Gauss, Dirichlet ve Fermat gibi önemli matematikçilerin kalıcı çalışmalarını öne çıkarıyoruz. Bu araçlar ve mantık, çalışmaya hizmet ederek nihayetinde Diophantine $D(\mp 3)$ kümelerindeki kavramların ve daha geniş matematiksel alandaki önemlerinin daha derin bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır.

To Cite: Özer Ö. Examining Prime Numbers/Components of Diophantine $D(\mp 3)$ Sets. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 566-579.

1. Introduction

In the sphere of number propositions (refer to the bibliography), Diophantine sets have long charmed mathematicians and presented rich ground for fine inquiry.

Prime numbers, their characteristics, and their connections to composite numbers have captivated mathematicians for millennia. However, it wasn't until the 1700s that Leonhard Euler made the first significant breakthrough in understanding prime numbers. The Quadratic Reciprocity Theorem was initially demonstrated by Carl Friedrich Gauss in the early 1800s and subsequently reaffirmed numerous times (at least eight times by Gauss himself).

We approach our concise examination of number theory with an elegant proof by the brilliant young mathematician Gotthold Eisenstein. This approximation serves as an appropriate endpoint for our study of number theory, as it alludes to the subject's wonderful, challenging, and nuanced aspects, and we hope it inspires you to delve deeper into number theory.

The ancient mathematician Diophantus of Alexandria was the first to prove the problem of discovering four figures that, when their pairwise products are increased by one, affect in perfect places. He successfully linked a set of four positive rational figures enjoying this property $\{1/16, 33/16, 17/4, 105/16\}$. After all, Fermat was credited with discovering the original set of four positive integers that fulfilled this condition $\{1, 3, 8, 120\}$. Euler latterly linked an horizonless family of analogous sets using a formula involving integers a , b and r , where $ab + 1 = r^2$.

Several extensions of the original problem studied by Diophantus and Fermat have been explored. One notable extension involves replacing the number one (-1) in the description of Diophantine m -tuples with an arbitrary integers. Also, multitudinous experimenters have excavated into the actuality of Diophantine quadruples with the property $D(n)$, achieving partial results. These discoveries led to the expression of delineations for Diophantine m -tuples, which involve sets of positive integers or non-zero rationals that satisfy specific fine conditions.

The Diophantine- $D(\mp 3)$ sets filled with integer values in this work represent an interesting area awaiting discovery. Our discussion plunges into these frameworks, for their special reasons, with a view to revealing the detached patterns and the peculiar characteristics they hold. By scrutinizing their structure, we are within ourselves to reveal the reality of the superior mathematics of these combinations. For these reasons, we consider the literature on this topic as follows:

The book of Apostol (Apostol, 1976) serves as an entry point to the fascinating world of logical number proposition. It covers abecedarian generalities, similar as high number proposition, Dirichlet series, and zeta functions, making it essential reading for those seeking the complex relationship between number propositions and analysis. It is a valuable resource for scholars and mathematicians who interested in the deep relationship between number propositions and analysis Baumgart's work (Baumgart, 2015) with Duke's work (Duke et al., 2005) introduces important methods and concepts that form the basis for further study in the number theory's topic named as Quadratic Reciprocity Law.

Cox's work (Cox, 2013) explores the interesting relationship between Fermat's last theorem, square field propositions, and complex integration. Here is a detailed explanation of the propositions behind quadratic forms and finds their functions in number propositions. The book is an invaluable resource for those interested in understanding the complex relationships between algebraic numbers, elliptic angles, and quadratic propositions. A work by Gauss (Gauss, 1966) using mathematical generalizations gives a detailed discussion of, including music, quadratures, and integer propositions. His published book provides a detailed discussion of general mathematical expressions, including especially number theoretic tools. Gauss's pioneering work laid the groundwork for many discoveries in a clever way. Gauss's logic and subtle rigor continue to influence and inspire mathematicians, leading to a wealth of knowledge in pure mathematics.

Focusing primarily on the Pell equation, Gopalan, Özer and their colleagues (Gopalan et al., 2018) provide results and a comprehensive summary of this particular Diophantine equation for the Pell equation has fascinated mathematicians for centuries, and this book explores its interesting and complex parts in depth, presenting results and their properties. The books of Hardy (Hardy et al., 2008) and Grosswald (Grosswald, 1984) enable readers to go into a certain depth, and makes it a must for mathematicians interested in this field read and deals extensively with quantitative representations.

Foundational books written separately by Rosen, Nathanson and Zuckerman in number proposition give a gentle preface to crucial generalities, including divisibility, high figures, and Diophantine equations. Bridging classical principles with ultramodern advancements, these books offer a comprehensive approach to the study of number proposition. They link literal perceptivity with contemporary developments, feeding to a broad followership of mathematicians seeking a well- rounded understanding of the subject.

Separate foundational books on numbers and number theory by Nathanson (Nathanson, 2010) , Ireland (Ireland et al., 2018), Niven (Niven et al., 2008) and Kuroki (Kuroki et al., 2009) offer gentle examples of important general concepts including division, higher scores, and Diophantine equations. Real emotions are associated with contemporary developments, giving them a large following of mathematicians seeking a fuller understanding of the subject

The author Özer (Özer, 2018-2022 and 2023) examined a selection of Diophantine P_{400} triplets, quadruples and P_2 to triplets exercising styles concerning Diophantine equations. The issues deduced in these studies set up out significance in demonstrating the operation of ways and unveiling new perceptivity in Diophantine proposition within the literature. Covering computation from a broad perspective, the book from Serre (Serre, 1996) offers a comprehensive course, including number proposition, algebra and more. It aims to give a well- rounded understanding of computation, making it suitable for scholars and mathematicians at colorful levels. For the work of the Rødseth (Rødseth, 1994) Brown and Shiue's paper was considered and found out on a remark related to the Frobenius problem.

Focused on algebraic figure, the book of Shafarevich (Shafarevich, 2013) concentrates on the study of kinds in projective space. It provides a foundational understanding of algebraic figure and its connections to colorful fine generalities. "Elliptic Angles Number Theory and Cryptography" explores the intricate connections between elliptic angles, number proposition, and their operations in cryptography.

For additional information on classical proofs of the Quadratic Reciprocity Law, we refer the reader to Baumgart's (Baumgart, 2015) work. Theorem which is stated as "If a and b are relatively primes, the number of natural numbers which changed in the form $au + bv$ for nonnegative integers u and v is equal to $[(a-1)(b-1)]/2$ " was showed by Sylvester (Sylvester, 1882) in 1882. In 1884, he (Sylvester, 1884) presented it as a significant problem, and Tripathi (Tripathi, 2000) later worked on a concise proof utilizing generating functions by reviewing some key pace in the Gauss-Eisenstein proof of the quadratic reciprocity law for the use of Legendre symbols.

Schering (Schering, 1882) extended Gauss' Lemma to the Jacobi symbol. After all, a deictic proof of the Gauss-Schering Lemma (in the work of Kuroki et al. and Schering's papers) appears to be plenty of theory based. Zolotarev (Zolotarev, 1872) noted that Legendre and Jacobi symbols are related to the signings of innately united permutations. This approximation has led to other proofs (Duke and Hopkins, 2005) demonstrating that Gauss' Lemma can be generalized to the Jacobi symbol. These ways provide direct proofs of the quadratic reciprocity law for Jacobi symbols but require the introduction of some auxiliary concepts from abstract algebra. For positive coprime integers a and b , and any positive number n , let $N(a,b;n)$ represent the number of positive integer solutions of $au+bv=n$.

Additionally, it is well-known that $N(a,b;n+ab)=N(a,b;n)+1$ (see Tripathi's work, Lemma 1). For $l < ab$, the equation $au+bv=l$ has not more than one solution (see the paper of Tripathi, Lemma 2 and Lemma 4).

This paper begins to explore a journey into the esoteric world of diophantine $D(\sqrt{-3})$ sets' theories, shedding new light on their complex nature and deep correlations of Diophantine- $D(\sqrt{-3})$ sets using integer standards the species trend remains an interesting round ripe for investigation. Our analysis examines these frameworks in more detail (regardless of their specificity) in an attempt to separate the extracted patterns from the distinctive characteristics they hold. By analyzing their compositions, we aim to reveal the high mathematics of these devices.

2. Materials and Method

Detailed eloquent explanations are essential to ensure clarity and coherence of the paper. The theory and description below detail the aforementioned section and are illustrated by the literature. Each of these terms will be used interchangeably in proofs of the proposition of our text.

Definition 2.1. A set $\mathcal{H} = \{h_1, h_2, h_3, \dots, h_r\}$ of r positive integers is called a Diophantine r -Tuples with property $D(s)$ if $(h_i \cdot h_j + s)$ is a perfect square for all $1 \leq i \neq j \leq r$.

The first set of four positive integers with the above property was found as $\{1, 3, 8, 120\}$ by Fermat.

Note 2.1. More generally, this definition can be given for rational numbers as follows:

A set n consisting of nonzero rational numbers $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ is referred to as a rational Diophantine n -tuple if for all $1 \leq i < j \leq n$ the product $s_i \cdot s_j + 1$ is a perfect square.

Also, some conjectures and useful theorems have been used for these type of sets in the literature as you seen in the below:

Conjectures. (i) A Diophantine quintuple does not exist.

(ii) If a nonzero integer r is not a perfect square, then there are only a finite number of $D(r)$ –quadruples.

Useful Theorems. (i) If r is an integer of the form $r = 4s + 2$, then there is no Diophantine quadruple with the property $D(r)$.

(ii) If an integer r does not have the form $4s + 2$ and $r \notin S = \{-4, -3, -1, 3, 5, 8, 12, 20\}$, then there exists at least one Diophantine quadruple with the property $D(r)$.

The following question has been examined related with these sets

Does a Diophantine triple exist where $n \neq 1$ (i.e. $D(1)$ –triple) ?

Dujella and his collaborators have discovered examples of Diophantine triples for several different values of n where $n \neq 1$. For instance, the set $\{4, 12, 420\}$ is a $D(1)$ –triple as well as a $D(436), D(3796)$ and $D(40756)$ – triple whether such triples exist in infinite numbers remains an open question.

Dujella and other researchers have also explored the existence of sets of positive integers, for a given integer $k \geq 3$ where the product of any two elements plus 1 results in a $k - th$ power.

These sets are called “ $k - th$ power Diophantine tuples”. Examples of such triples for $k = 3$ and $k = 4$ are given by the sets $\{2, 171, 25326\}$ and $\{1352, 8539880, 9768370\}$ respectively.

Definition 2.2. Let a and m be integers, with conditions $m > 1$ and $(a, m) = 1$. It is said that a is a quadratic residue modulo m if the congruence $x^2 \equiv a \pmod{m}$ has a solution; it is said that a is a quadratic nonresidue modulo m if it is not a quadratic residue.

For example, the quadratic residues modulo 7 are determined as 1, 2 and 4, and the quadratic nonresidues are found as 3, 5 and 6; 0 is neither residue nor nonresidue.

Quadratic reciprocity law, even apparently one of Gauss’ favorite subjects, it was a corresponding with Dirichlet, the famous mathematician. Gauss and Dirichlet considered two different quadrant reciprocity, however, could not be verified. However, Dirichlet was able to show that the quadratic reciprocity in the concept of binary reciprocity. It works for Gaussian integers as well as rational integers. As mentioned earlier, Dirichlet discovered fine shapes leading to a simple proof of some basic assumptions in Number theory. For stating theorem, however, it is given as follows named by Dirichlet’s theorem.

Theorem 2.1. If two positive integers q and r are coprimes, then there are infinitely many primes of the form $r + kq$ with integers k .

In 1837, this theorem was found out by Dirichlet and before that, there were several mathematicians whose work dealt closely with the achievements related to this significant and useful theorem. It can be easily proved by contradiction that there exist infinitely many primes and by constructing a converging alternating series, it may also be proved that there are infinitely many primes in the form $4k + 1$.

Dirichlet's theorem has numerous implications and applications in various other number-theoretic quantitative theories, methods, investigations, and problems. It serves as a crucial tool for analysis in many aspects of quantitative research.

Definition 2.3. Let p be an odd prime and suppose that a is an integer such that $(p, a) = 1$ (relatively primes). The *Legendre symbol* (a/p) is defined as follows:

$$(a/p) = 1 \text{ if } x^2 \equiv a \pmod{p} \text{ has a solution } x \in \mathbb{Z}$$

or

$$(a/p) = -1 \text{ if there is no such solution}$$

The Legendre symbol can be computed by using Euler's Criterion. Besides, the Legendre symbol has many important properties such as $(a.b/p) = (a/p).(b/p)$ where a, b are integers.

Theorem 2.2. (Euler's criterion). Let p be an odd prime and suppose that a is an integer such that $(p, a) = 1$. Then, following congruence is satisfied.

$$(a/p) \equiv a^{(p-1)/2} \pmod{p}.$$

Corollary 2.1. Assume that p is an odd prime number. The product of two quadratic residues or of two quadratic non-residues (modulo p) is a quadratic residue; the product of a quadratic residue and a quadratic non-residue is a quadratic non-residue.

The Law of Quadratic Reciprocity is a key theorem in number theory, used to determine if an integer is a quadratic residue under a modulus p , where p is an odd prime number. The Law of Quadratic Reciprocity was first proposed by Euler in 1744, but he was unable to prove the main theorem. Legendre made partial progress in 1785 but his proof had gaps. The first complete proof came in 1796, when 18-year-old Gauss provided it, calling it the "Golden Theorem." Gauss later developed eight different proofs.

This theorem is especially important in cryptography, such as in the Goldwasser-Micali system, where the chosen key must not be a quadratic residue in the modulus of large prime numbers p and q . It is also applied in prime number tests like the Euler test.

Over the past 300 years, various methods have been used to prove this theorem. Gauss extended it to higher-order reciprocity laws. Mathematicians continue to explore new proofs of this significant theorem, not only for its technical complexity but also for its aesthetic elegance. It is also noted as "For

those who regard number theory as the 'Queen of Mathematics,' this law is one of the crown's jewels" in the literature.

Definition 2.4. The Law of Quadratic Reciprocity is defined for distinct odd prime numbers p and q . The law of quadratic reciprocity is usually complemented with a formula for the Legendre symbol given by

$$\left(\frac{q}{p}\right) \cdot \left(\frac{p}{q}\right) = (-1)^{\frac{1}{2}(p-1) \cdot \frac{1}{2}(q-1)}$$

Let's define the ring of integers \mathbb{Z}_n as the set $\{0, 1, \dots, n-1\}$ under modulo n . Zolotarev's Lemma states that if a, b are relatively prime positive integers then $\left[\frac{a}{b}\right]$ is equal to the Jacobi symbol $\left(\frac{a}{b}\right)$ and this symbol gives quadratic reciprocity (used for fast computation of Legendre symbols). In general, $\left[\frac{a}{b}\right]$ represents the sign of multiplication by a in the set $\mathbb{Z}/b\mathbb{Z}$ but it is not the sign of multiplication in $(\mathbb{Z}/b\mathbb{Z})^*$; however, when b is a prime these cases coincide. The lemma is stated as follows:

Lemma 2.1. (Zolotarev). For any prime number p and any $m \in \mathbb{Z}_p^*$ the Legendre Symbol $\left(\frac{m}{p}\right)$ is equivalent to the sign of the permutation $\tau_m: x \mapsto mx$ of \mathbb{Z}_p^* .

More broadly, quadratic reciprocity is key to explicitly expressing the Dedekind zeta functions of quadratic number fields, and attempting to generalize this leads to class field theory and other advanced topics.

Theorem 2.3. (Gauss' lemma). Let p be an odd prime and $(a/p) = 1$. Assume that δ is the number of least positive residues of the integers $a; 2a; 3a; \dots; [(p-1) \cdot a]/2$ modulo p that are greater than $p/2$. Then, following equality is satisfied.

$$\left(\frac{a}{p}\right) = (-1)^\delta.$$

Diophantine equations are the study of solutions of polynomial equations in integers or general number rings. Originating in ancient texts, this branch of number theory is one of the oldest in mathematics. The fascination of the subject lies in the difficulty of solving these problems, often involving sophisticated mathematical tools.

Definition 2.5. A Diophantine equation is defined by $f(y_1, y_2, \dots, y_m) = 0$ where y_1, y_2, \dots, y_m are variables and f presents a set of polynomial equations with integer coefficients and solutions.

Diophantine equations are the simplest of degree 1, The two-variable case is well known: the equation $ax + by = c$ has a solution in integers x, y if and only if $\gcd(a, b)$ divides c . As we know any particular solution is easier to obtain with the extended Euclidean algorithm.

Specifically, the Pell Equation, named after the mathematician John Pell, is a type of Diophantine equation of the form $u^2 - Dv^2 = 1$ as classically. Then, D is a nonsquare positive integer, and the task is to find integer results for u and v . Pell equations are a special case of a broader class of equations known as the generalized Pell equations. Some of the resulting methods for Pell Equation can be

mentioned as Continued Fraction Expansions, Rush Relations, Algebraic and Number Theoretic Styles, the Method Samasa, Brahmagupta's Method etc. (They are trivially known to mathematicians from multitudinous books on mathematics in particular in mathematical proposition).

3. Main Results and Discussion

In this section, it is proven in detail which forms the primes in the Diophantine $D(3)$ or $D(-3)$ sets should take, with the help of the definitions and theorems available in the literature and expressed in the preliminaries section.

Note 3.1. If we consider the prime numbers of the Diophantine $D(+3)$ sets from the literature and references, it is seen that $p = 2, 3, 11, 13, 23, 37, 47, 59, 61, 71, 73, 83, 97, 107, 109, \dots$ so on are in the Diophantine sets showcasing the $D(+3)$ property even this compendium comprises high figures conforming to the given criteria.

So, these primes can be given in the special form exactly as follow:

Theorem 3. 1. Let p be an odd prime number (greater than 3) that belongs to the Diophantine sets characterized by property $D(+3)$. The prime numbers ($p \neq 2, 3$) in the set $D(+3)$ are of the form $p \equiv \mp 1 \pmod{12}$ and conversely, the prime numbers of the form $p \equiv \mp 1 \pmod{12}$ also exist in the set $D(+3)$.

Proof. Let $p \equiv \mp 1 \pmod{12}$ be a prime number and \mathbb{N} be a positive integer in the Diophantine sets with property $D(+3)$. Using the definition of the Diophantine sets with property $D(+3)$ given in the preliminaries section, following equation is obtained:

$$\mathbb{N} \cdot p + 3 = \mathfrak{X}^2$$

and

$$\mathfrak{X}^2 \equiv 3 \pmod{p}.$$

Using Legendre symbol, quadratic reciprocity and $p \equiv \mp 1 \pmod{12}$ for following,

$$\left(\frac{3}{p}\right) \cdot \left(\frac{p}{3}\right) = (-1)^{\frac{1}{2}(p-1) \cdot \frac{1}{2}(3-1)}$$

then, we have $\left(\frac{3}{p}\right) = +1$. It is demonstrated that primes in the form of $p \equiv \mp 1 \pmod{12}$ belongs to Diophantine sets with property $D(+3)$.

On the other hand, for any odd prime number p , if it is in the Diophantine sets with the property $D(+3)$ then these primes are of the form $p \equiv \mp 1 \pmod{12}$. This can be easily seen using Gauss Lemma, Quadratic reciprocity and the Legendre symbol.

Alternative Proof for $p \equiv 11 \pmod{12}$: When we examine the Diophantine equation $x^2 - ny^2 = p$, where n is a nonzero integer and p is a prime number, and if $gcd(p, n) = 1$ is satisfied, then reducing this equation modulo p leads to the conclusion $\left(\frac{n}{p}\right) = 1$ as derived from the law of Quadratic reciprocity.

Using this law, it has been proven that the following arithmetic sequences contain infinitely many prime numbers:

Consider the function $f(x) = 3x^2 - 1$. If p divides $f(n)$, then $\left(\frac{3}{p}\right) = 1$. However, in order to show that there are infinitely many primes that divide f and are congruent to $3 \pmod{4}$, we can modify the proof of the corresponding results. Assume that there is a finite set of primes p_1, \dots, p_n that satisfy this property and examine $f(2p_1 \dots p_n) \equiv 3 \pmod{4}$. This implies that there are infinitely many primes p for which $\left(\frac{3}{p}\right) = 1$ and $p \equiv 3 \pmod{4}$. According to the Law of Quadratic Reciprocity $\left(\frac{p}{3}\right) = -1$, which means $p \equiv 2 \pmod{3}$. Therefore, $p \equiv 11 \pmod{12}$.

Corollary 3.1. The following table contains some numerical results for Diophantine sets with property $D(+3)$ as triples. The results in these tables can be given as a simple example to see the validity of the theorems for numerical values between 1 and 1000.

(1, 6, 13)	(1, 481, 526)	(2, 263, 311)	(3, 362, 431)	(11, 26, 71)	(13, 177, 286)	(23, 66, 167)	(33, 262, 481)	(46, 373, 681)	(69, 142, 409)	(83, 386, 827)	(131, 383, 962)	
(1, 13, 22)	(1, 526, 573)	(2, 311, 363)	(3, 431, 506)	(11, 66, 131)	(13, 241, 366)	(23, 122, 251)	(33, 334, 577)	(46, 457, 793)	(69, 169, 454)	(94, 177, 529)	(138, 227, 719)	
(1, 22, 33)	(1, 573, 622)	(2, 363, 419)	(3, 506, 587)	(11, 71, 138)	(13, 286, 421)	(23, 167, 314)	(33, 481, 766)	(46, 74, 239)	(69, 409, 814)	(94, 249, 649)	(141, 166, 613)	
(1, 33, 46)	(1, 622, 673)	(2, 419, 479)	(3, 587, 674)	(11, 131, 218)	(13, 366, 517)	(23, 251, 426)	(33, 577, 886)	(46, 143, 354)	(69, 454, 877)	(97, 118, 429)	(142, 241, 753)	
(1, 46, 61)	(1, 673, 726)	(2, 479, 543)	(3, 674, 767)	(11, 138, 227)	(13, 421, 582)	(23, 314, 507)	(33, 214)	(46, 239, 498)	(69, 138, 407)	(97, 349, 814)	(143, 179, 642)	
(1, 61, 78)	(1, 726, 781)	(2, 543, 611)	(3, 767, 866)	(11, 218, 327)	(13, 517, 694)	(23, 426, 647)	(33, 249)	(46, 354, 659)	(69, 183, 482)	(97, 429, 934)	(143, 291, 842)	
(1, 78, 97)	(1, 781, 838)	(2, 611, 683)	(3, 866, 971)	(11, 227, 338)	(13, 582, 769)	(23, 507, 746)	(33, 214, 429)	(46, 498, 851)	(69, 407, 818)	(97, 146, 503)	(143, 354, 947)	
(1, 97, 118)	(1, 838, 897)	(2, 683, 759)	(3, 971)	(6, 13, 37)	(11, 327, 458)	(13, 694, 897)	(23, 647, 914)	(33, 249, 478)	(46, 282)	(69, 482, 923)	(97, 359, 858)	(146, 191, 671)
(1, 118, 141)	(1, 897, 958)	(2, 759, 839)	(3, 1066)	(6, 37, 73)	(11, 338, 471)	(13, 769, 982)	(23, 429, 718)	(33, 194, 467)	(46, 121, 382)	(69, 229, 654)	(97, 334, 949)	
(1, 141, 166)	(2, 3, 11)	(2, 839, 923)	(6, 73, 121)	(11, 458, 611)	(13, 109)	(22, 33, 183)	(26, 71, 183)	(37, 478, 781)	(59, 282, 599)	(73, 214, 537)	(109, 262, 709)	(166, 193, 717)
(1, 166, 193)	(2, 11, 23)	(3, 11, 26)	(6, 121, 181)	(11, 471, 626)	(13, 169)	(22, 69, 169)	(26, 143, 291)	(39, 59, 194)	(59, 467, 858)	(73, 382, 789)	(111, 143, 506)	(167, 314, 939)
(1, 193, 222)	(2, 23, 39)	(3, 26, 47)	(6, 181, 253)	(11, 611, 786)	(13, 109, 229)	(22, 183, 347)	(26, 122, 299)	(39, 61, 277)	(59, 107, 359)	(73, 386, 911)	(111, 313, 942)	
(1, 222, 253)	(2, 39, 59)	(3, 47, 74)	(6, 253, 337)	(11, 626, 803)	(13, 169, 313)	(22, 291, 491)	(26, 194, 407)	(39, 213, 502)	(59, 74, 239)	(73, 141, 517)	(111, 286, 913)	
(1, 253, 286)	(2, 59, 83)	(3, 74, 107)	(6, 337, 433)	(11, 786, 983)	(13, 229, 393)	(22, 347, 563)	(26, 299, 554)	(39, 277, 598)	(59, 359, 759)	(73, 429, 997)	(111, 219, 794)	
(1, 286, 321)	(2, 83, 111)	(3, 107, 146)	(6, 433, 541)	(13, 22, 69)	(22, 313, 501)	(26, 491, 743)	(39, 407, 698)	(59, 502, 913)	(73, 349)	(111, 181, 598)	(166, 253, 862)	
(1, 321, 358)	(2, 111, 143)	(3, 146, 191)	(6, 541, 661)	(13, 37, 94)	(22, 393, 601)	(26, 563, 831)	(39, 554, 887)	(59, 66, 131)	(73, 277, 649)	(111, 382, 933)	(166, 242, 863)	
(1, 358, 397)	(2, 143, 179)	(3, 191, 242)	(6, 661, 793)	(13, 69, 142)	(22, 501, 733)	(26, 157)	(33, 46, 213)	(46, 167, 443)	(66, 349, 757)	(78, 251, 723)	(122, 222, 829)	
(1, 397, 438)	(2, 179, 219)	(3, 242, 299)	(6, 793, 937)	(13, 94, 177)	(22, 601, 853)	(26, 109, 262)	(33, 157, 373)	(46, 383, 767)	(66, 111, 386)	(78, 299, 803)	(122, 263, 962)	
(1, 438, 481)	(2, 219, 263)	(3, 299, 362)	(6, 11, 23, 66)	(13, 142, 241)	(23, 39, 122)	(33, 157, 334)	(46, 213, 457)	(66, 443, 851)	(83, 282, 671)	(131, 218, 687)	(222, 253, 949)	

Note 3.2. Similar results can be found for the Diophantine sets with the property $D(-3)$ too. Primes such as $p = 2, 3, 7, 13, 19, 31, 37, 43, 61, 67, 73, 79, 97, 103, 109, \dots$ so on belongs to the Diophantine sets with the property $D(-3)$ and these can be classified like we mentioned above.

Theorem 3. 2. Let p be an odd prime number that belongs to the Diophantine sets characterized by property $D(-3)$. The prime numbers in the set $D(-3)$ are of the form $p \equiv 1 \pmod{3}$ or $p = 3$. On the other hand, the prime numbers of the form $p \equiv 1 \pmod{3}$ or $p = 3$ also are included in the Diophantine sets with the property $D(-3)$.

Proof. Assume that $p \equiv 1 \pmod{3}$ is a prime and \mathfrak{S} is a positive integer in the Diophantine sets with property D(-3). Using the definition of the Diophantine sets with property D(-3), we get following

$$\mathfrak{S} \cdot p - 3 = \xi^2$$

and

$$\xi^2 \equiv -3 \pmod{p}.$$

Using Legendre symbol, quadratic reciprocity and $p \equiv 1 \pmod{3}$ for the following equalities

$$\left(\frac{-3}{p}\right) = \left(\frac{-1}{p}\right) \cdot \left(\frac{3}{p}\right) \quad , \quad \left(\frac{3}{p}\right) \cdot \left(\frac{p}{3}\right) = (-1)^{\frac{1}{2}(p-1) \cdot \frac{1}{2}(3-1)} \quad \text{with} \quad \left(\frac{-1}{p}\right) = (-1)^{\frac{1}{2}(p-1)}$$

it is obtained that $\left(\frac{-3}{p}\right) = +1$. It is demonstrated that primes in the form of the $p \equiv 1 \pmod{3}$ belongs to Diophantine sets with property D(-3).

Trivially, contrast of the statement is easy to prove.

The following conclusion can be given in the different way of what is stated in Theorem 3.2

Corollary 3. 2. Let p represent a prime number greater than 3. Then, following condition is satisfied. If p belongs to the Diophantine sets with the property D(-3), then p conforms to the $p = u^2 + 3v^2$, $u, v \in \mathbb{Z}$ (p is prime). Besides, the primes in the form of $p = u^2 + 3v^2$, ($u, v \in \mathbb{Z}$), then they are also found in the set D(-3).

Proof. Considering Dirichlet's theorem, Euler's approximations to demonstrate Fermat's result, this theorem can be readily ascertained.

The number minus three (-3) must be a quadratic residue with respect to p prime number in order to get the prime number p to be in the diophantine sets with property D(-3). Hence, Legendre symbol $\left(\frac{-3}{p}\right) = \left(\frac{-1}{p}\right) \left(\frac{3}{p}\right)$ value has to be equivalent to +1. From the properties of Legendre symbol and Quadratic Reciprocity Law with the definitions and lemmas mentioned in the Preliminaries section, we get that the prime value p is written of the type of $p = u^2 + 3v^2$ ($u, v \in \mathbb{Z}$).

It is also known that

$$p = u^2 + 3v^2, \quad (u, v \in \mathbb{Z}) \Leftrightarrow p \equiv 1 \pmod{3} \quad \text{or} \quad p = 3$$

and it completes the proof.

Corollary 3.3. The table below presents some numerical outcomes for Diophantine sets with the D(-3) property in the form of triples. These results serve as straightforward examples to demonstrate the validity of the theorems for numerical values ranging from 1 to 1000.

(1, 4, 7)	(1, 579, 628)	(2, 614, 686)	(4, 21, 43)	(4, 757, 871)	(7, 229, 316)	(12, 631, 817)	(14, 302, 446)	(21, 412, 619)	(28, 409, 651)	(38, 438, 734)	(49, 516, 883)	(67, 84, 301)	(84, 163, 481)	(109, 367, 876)	(148, 193, 679)
(1, 7, 12)	(1, 628, 679)	(2, 686, 762)	(4, 31, 57)	(4, 813, 931)	(7, 277, 372)	(12, 721, 919)	(14, 402, 566)	(21, 439, 652)	(28, 489, 751)	(38, 494, 806)	(52, 67, 237)	(67, 237, 556)	(84, 217, 571)	(111, 157, 532)	(148, 273, 823)
(1, 12, 19)	(1, 679, 732)	(2, 762, 842)	(4, 43, 73)	(4, 871, 993)	(7, 316, 417)	(13, 28, 79)	(14, 446, 618)	(21, 619, 868)	(28, 523, 793)	(39, 52, 181)	(52, 97, 291)	(67, 301, 652)	(84, 301, 703)	(111, 364, 877)	(151, 309, 892)
(1, 19, 28)	(1, 732, 787)	(2, 842, 926)	(4, 57, 91)	(6, 14, 38)	(7, 372, 481)	(13, 31, 84)	(14, 566, 758)	(21, 652, 907)	(28, 613, 903)	(39, 133, 316)	(52, 139, 361)	(73, 111, 364)	(84, 373, 811)	(114, 146, 518)	(151, 372, 997)
(1, 28, 39)	(1, 787, 844)	(3, 4, 13)	(4, 73, 111)	(6, 38, 74)	(7, 417, 532)	(13, 79, 156)	(14, 618, 818)	(26, 42, 134)	(28, 651, 949)	(39, 181, 388)	(52, 181, 427)	(73, 228, 559)	(84, 481, 967)	(114, 398, 938)	(156, 229, 763)
(1, 39, 52)	(1, 844, 903)	(3, 13, 28)	(4, 91, 133)	(6, 74, 122)	(7, 481, 604)	(13, 84, 163)	(14, 758, 978)	(26, 78, 194)	(31, 57, 172)	(39, 316, 577)	(52, 237, 511)	(73, 364, 763)	(86, 114, 398)	(122, 182, 602)	(156, 259, 817)
(1, 52, 67)	(1, 903, 964)	(3, 28, 49)	(4, 111, 157)	(6, 122, 182)	(7, 532, 661)	(13, 156, 259)	(19, 28, 93)	(26, 134, 278)	(31, 84, 217)	(39, 388, 673)	(52, 291, 589)	(74, 122, 386)	(86, 294, 698)	(122, 386, 942)	(157, 211, 732)
(1, 67, 84)	(2, 6, 14)	(3, 49, 76)	(4, 133, 183)	(6, 182, 254)	(7, 604, 741)	(13, 163, 268)	(19, 61, 148)	(26, 194, 362)	(31, 172, 349)	(39, 577, 916)	(52, 361, 687)	(74, 218, 546)	(86, 398, 854)	(124, 147, 541)	(158, 266, 834)
(1, 84, 103)	(2, 14, 26)	(3, 76, 109)	(4, 157, 211)	(6, 254, 338)	(7, 661, 804)	(13, 259, 388)	(19, 93, 196)	(26, 278, 474)	(31, 217, 412)	(42, 62, 206)	(52, 427, 777)	(74, 386, 798)	(91, 133, 444)	(124, 247, 721)	(163, 268, 849)
(1, 103, 124)	(2, 26, 42)	(3, 109, 148)	(4, 183, 241)	(6, 338, 434)	(7, 741, 892)	(13, 268, 399)	(19, 148, 273)	(26, 362, 582)	(31, 349, 588)	(42, 206, 434)	(52, 511, 889)	(76, 109, 367)	(91, 169, 508)	(124, 313, 831)	(169, 271, 868)
(1, 124, 147)	(2, 42, 62)	(3, 148, 193)	(4, 211, 273)	(6, 434, 542)	(7, 804, 961)	(13, 388, 543)	(19, 196, 337)	(26, 474, 722)	(31, 412, 669)	(42, 326, 602)	(52, 589, 991)	(76, 129, 403)	(91, 244, 633)	(127, 217, 676)	(172, 199, 741)
(1, 147, 172)	(2, 62, 86)	(3, 193, 244)	(4, 241, 307)	(6, 542, 662)	(12, 19, 61)	(13, 399, 556)	(19, 273, 436)	(26, 582, 854)	(31, 588, 889)	(42, 434, 746)	(57, 91, 292)	(76, 219, 553)	(91, 292, 709)	(127, 364, 921)	(182, 222, 806)
(1, 172, 199)	(2, 86, 114)	(3, 244, 301)	(4, 273, 343)	(6, 662, 794)	(12, 37, 91)	(13, 543, 724)	(19, 337, 516)	(28, 39, 133)	(31, 669, 988)	(42, 602, 962)	(57, 172, 427)	(76, 247, 597)	(91, 444, 937)	(129, 196, 643)	(182, 254, 866)
(1, 199, 228)	(2, 114, 146)	(3, 301, 364)	(4, 307, 381)	(6, 794, 938)	(12, 61, 127)	(13, 556, 739)	(19, 436, 637)	(28, 49, 151)	(37, 76, 219)	(43, 73, 228)	(57, 292, 607)	(76, 367, 777)	(93, 196, 559)	(129, 403, 988)	(183, 241, 844)
(1, 228, 259)	(2, 146, 182)	(3, 364, 433)	(4, 343, 421)	(7, 12, 37)	(12, 91, 169)	(13, 724, 931)	(19, 516, 733)	(28, 79, 201)	(37, 91, 244)	(43, 124, 313)	(57, 427, 796)	(76, 403, 829)	(93, 223, 604)	(133, 183, 628)	(186, 302, 962)
(1, 259, 292)	(2, 182, 222)	(3, 433, 508)	(4, 381, 463)	(7, 21, 52)	(12, 127, 217)	(13, 739, 948)	(19, 637, 876)	(28, 93, 223)	(37, 219, 436)	(43, 228, 469)	(61, 127, 364)	(78, 158, 458)	(97, 156, 499)	(133, 283, 804)	(193, 244, 871)
(1, 292, 327)	(2, 222, 266)	(3, 508, 589)	(4, 421, 507)	(7, 37, 76)	(12, 169, 271)	(14, 26, 78)	(19, 733, 988)	(28, 133, 283)	(37, 244, 471)	(43, 313, 588)	(61, 148, 399)	(78, 194, 518)	(97, 291, 724)	(133, 316, 859)	(196, 277, 939)
(1, 327, 364)	(2, 266, 314)	(3, 589, 676)	(4, 463, 553)	(7, 52, 97)	(12, 217, 331)	(14, 38, 98)	(21, 43, 124)	(28, 151, 309)	(37, 436, 727)	(43, 469, 796)	(61, 364, 723)	(78, 458, 914)	(98, 186, 554)	(134, 278, 798)	(199, 228, 853)
(1, 364, 403)	(2, 314, 366)	(3, 676, 769)	(4, 507, 601)	(7, 76, 129)	(12, 271, 397)	(14, 78, 158)	(21, 52, 139)	(28, 201, 379)	(37, 471, 772)	(43, 588, 949)	(61, 399, 772)	(78, 518, 998)	(98, 258, 674)	(134, 326, 878)	(211, 273, 964)
(1, 403, 444)	(2, 366, 422)	(3, 769, 868)	(4, 553, 651)	(7, 97, 156)	(12, 331, 469)	(14, 98, 186)	(21, 124, 247)	(28, 223, 409)	(38, 74, 218)	(49, 76, 247)	(62, 86, 294)	(79, 156, 457)	(103, 124, 453)	(139, 268, 793)	(222, 266, 974)
(1, 444, 487)	(2, 422, 482)	(3, 868, 973)	(4, 601, 703)	(7, 129, 196)	(12, 397, 547)	(14, 158, 266)	(21, 139, 268)	(28, 283, 489)	(38, 98, 258)	(49, 151, 372)	(62, 206, 494)	(79, 201, 532)	(103, 373, 868)	(139, 361, 948)	(228, 259, 973)

(1, 487, 532)	(2, 482, 546)	(4, 7, 21)	(4, 651, 757)	(7, 156, 229)	(12, 469, 631)	(14, 186, 302)	(21, 247, 412)	(28, 309, 523)	(38, 218, 438)	(49, 247, 516)	(62, 294, 626)	(79, 457, 916)	(103, 453, 988)	(146, 182, 654)	...
(1, 532, 579)	(2, 546, 614)	(4, 13, 31)	(4, 703, 813)	(7, 196, 277)	(12, 547, 721)	(14, 266, 402)	(21, 268, 439)	(28, 379, 613)	(38, 258, 494)	(49, 372, 691)	(62, 494, 906)	(84, 103, 373)	(109, 148, 511)	(147, 172, 637)	...

Combining Theorem 3.1 and Corollary 3.1, a significant result is obtained on primes for Diophantine sets with the properties both $D(-3)$ and $D(+3)$ as following:

Theorem 3.3. Assume that $p > 3$ is a prime number. Then, the following equivalence is satisfied.

$$p \equiv 1 \pmod{24} \Leftrightarrow p \text{ is included to the Diophantine sets with the properties both } D(-3) \text{ and } D(+3).$$

Proof. Using Theorem 3.1 and Corollary 3.2 with their proofs associated with Dirichlet's Theorem, the following also can be found;

$$\left(\frac{3}{p}\right) = 1 \quad \text{if and only if} \quad p \equiv 1 \pmod{12} \text{ or } p \equiv 11 \pmod{12}$$

$$\text{if and only if} \quad p \equiv 1, 11, 13, 23 \pmod{24}$$

and

$$\left(\frac{-3}{p}\right) = 1 \quad \text{if and only if} \quad p \equiv 1 \pmod{3} \quad \text{if and only if} \quad p \equiv 1, 7, 13, 19 \pmod{24}$$

Using above mentioned results, it is obtained that primes $p \equiv 1 \pmod{24}$ are in the Diophantine sets with property $D(\pm 3)$.

4. Conclusion

In substance, insights into the mysterious realm of the diophantine $D(\mp 3)$ set have revealed a robust understanding of their complex particulars and deep correlations among them. The study highlighted the magical nature of these systems in terms of numerical, and demonstrated the possibility of a richly nuanced analysis.

This study explores the mysterious realm of diophantine $D(\pm 3)$ sets, revealing their complex particulars-deep interactions. These integerdominated sets have provided an interesting geographical settlement research fort his issue. However, our exploratory tests on these collections end up revealing their shapes, hidden shapes, and distinctive characteristics. By examining their structure more closely, we seek to determine the frequency of high-level figures embedded in these collections.

The focus in this study on the diophantine- $D(\mp 3)$ sets described by integer values has provided an interesting platform for insight. Regardless of their cardinality, the purpose of our study is to reveal the examples drawn and the unique characteristics of these systems. A careful examination of their compositions accounted for the presence of the upper classes/ larger sets, and shed light on the absedary characteristics of these sets.

This excursion into the world of diophantine $D(\mp 3)$ sets has not only expanded our understanding of those properties but also highlighted their importance in a broader quantitative context. The observations

made throughout this experiment pave the way for far greater insight and research, leading to a greater appreciation of the intricate relationships and complexities required in these particles.

Acknowledgement

The author thanks the referees and Editor for their valuable comments.

Declaration

The paper "Examining Prime Numbers/Components of Diophantine $D(\overline{\mp}3)$ Sets" suggests exploring efforts aimed at unmasking and understanding the complexity and structure requirements of Diophantine sets through the $D(\overline{\mp}3)$ property the focus of attention.

This work implies identifying the figures in these categories, including possibly identifying patterns, combinations and unique characteristics of similar categories. This study does not need to carry the blessing of the Ethics Commission.

Conflict of interest

The author states that there is no conflict with the paper "Examining Prime Numbers/Components of Diophantine $D(\overline{\mp}3)$ Sets."

References

- Apostol TM. Introduction to analytic number theory. Springer, 1976.
- Baumgart O. The quadratic reciprocity law: A collection of classical proofs. Springer. International Publishing, 2015.
- Cox D. A. Primes of the Form $x^2 + ny^2$: Fermat, Class Field Theory and Complex Multiplication. Wiley, 2013.
- Duke W., Hopkins K. Quadratic reciprocity in a finite group. Amer. Math. Monthly 2005; 112: 251–256.
- Gauss CF. Disquisitiones arithmeticae (A. A. Clarke, Trans.). New Haven, Yale University Press, 1996.
- Gopalan MA., Vidhyalakshmi S., Özer Ö. A collection of pellian equation (Solutions and Properties). Akinik Publications, New Delhi, India 2018.
- Grosswald E. Topics from the Theory of Numbers (2nd ed.). Birkhäuser, 1984.
- Hardy GH., Wright EM. An introduction to the theory of numbers. Oxford University Press, 2008.
- Ireland K., Rosen M. A classical introduction to modern number theory. Springer, 2013.
- Kuroki A., Katayama SI. A variation of Takagi's proof for quadratic reciprocity laws of Jacobi symbols. J. Math. Tokushima Univ. 2009; 43: 9–23.
- Nathanson, MB. Additive number theory: Inverse Problems and the Geometry of Sumsets. Springer, 2010.

- Niven I., Zuckerman HS., Montgomery HL. An introduction to the theory of numbers (5th ed.). Wiley, 2008.
- Özer Ö. On the some nonextendable regular P_2 sets. Malaysian Journal of Mathematical Science (MJMS) 2018; 12(2): 255–266.
- Özer Ö. Some results on the extensions of special diophantine $D(s)$ sets from single to triples. Egyptian Computer Science Journal 2022; 46(2): 90-99.
- Özer Ö. A note on the some specific diophantine $D(s)$ property from triple to quadruple. Egyptian Computer Science Journal 2022; 46(2): 100-112.
- Özer Ö. Some notes on the extendibility of an especial family of diophantine P_2 pairs. Journal of Advanced Mathematics and Mathematics Education 2023; 6(2): 1-7.
- Rødseth ØJ. A note on Brown and Shiue's paper on a remark related to the Frobenius problem. Fibonacci Quart. 1994; 32: 407–408.
- Schering E. Zur Theorie der quadratischen Reste, Acta Math. 1882; 1: 153–170; Werke II, 1986; 69–86.
- Serre JP. A course in arithmetic. Springer, 1996.
- Shafarevich IR. Basic algebraic geometry 1: Varieties in projective space. Springer, 2013.
- Sylvester JJ. On subinvariants, i.e. semi-invariants to binary quantics of an unlimited order. Amer. J. Math. 1882; 5: 79–136.
- Sylvester JJ. Problem 7382. Mathematical Questions, with their Solutions, from the Educational Times 41, 1884; 21.
- Tripathi A. The number of solutions to $ax + by = n$, Fibonacci Quart. 2000; 38: 290–293.
- Zolotarev G. Nouvelle démonstration de la loi de réciprocité de Legendre. Nouvelles, Annales de Mathématiques 1872; 11: 354–362.

RF ve DC Magnetron Püskürtme Tekniği ile Büyütülmüş Ni Katkılı α -Fe₂O₃ İnce Filmin Optik, Yapısal ve Morfolojik Özellikleri

Maryam ABDOLAHPOUR SALARI¹, Günay MERHAN MUĞLU², Volkan ŞENAY^{3*}, Sevda SARITAŞ⁴

¹Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Erzurum

²Atatürk Üniversitesi, Hınıs Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Optisyenlik Programı, Hınıs, Erzurum

³Bayburt Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Optisyenlik Programı, Bayburt

⁴Atatürk Üniversitesi, İspir Hamza Polat Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, İspir, Erzurum

¹ <https://orcid.org/0009-0002-1199-5632>

² <https://orcid.org/0000-0002-4664-1482>

³ <https://orcid.org/0000-0002-6579-2737>

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-7274-3968>

*Sorumlu yazar: vsenay@bayburt.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 03.08.2024

Kabul tarihi: 01.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

RF ve DC magnetron püskürtme

α -Fe₂O₃

XRD

SEM

AFM

ÖZ

Bu çalışmada, doğru akım (DC) ve radyo frekansı (RF) magnetron püskürtme tekniği kullanılarak cam alttaş üzerinde Ni katkılı hematit (α -Fe₂O₃) ince film sentezlenmiştir ve üretilen filmin birçok fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmin optik, yapısal ve morfolojik analizleri, UV-VIS spektroskopisi, EDX, X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılarak belirlenmiştir. Absorbsiyon ölçümüne dayanarak, ince filmin bant aralığı enerji değeri 2,12 eV olarak hesaplanmıştır. XRD analizi, incelenen ince filmin nanokristalin yapıya sahip olduğunu göstermiştir. SEM görüntüsüne göre ince film alttaş boyunca düzgün bir yüzey morfolojisi sergilemiştir. Ayrıca AFM görüntüleri, düşük bir RMS pürüzlülük değeri ortaya koymuştur ve bu da Ni katkılı Fe₂O₃ ince filminin pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğunu göstermektedir.

Optical, Structural, and Morphological Properties of Ni Doped α -Fe₂O₃ Thin Film Grown by RF and DC Magnetron Co-Sputtering Technique

Research Article

Article History:

Received: 03.08.2024

Accepted: 01.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

RF and DC magnetron co-sputtering

α -Fe₂O₃

XRD

SEM

AFM

ABSTRACT

In this research, a Ni-doped hematite (α -Fe₂O₃) thin film was synthesized on a glass substrate using direct current (DC) and radio frequency (RF) magnetron co-sputtering technique, and several physical properties of the film were investigated. The optical, structural, and morphological characteristics of the obtained Ni-doped α -Fe₂O₃ thin film were determined using UV-VIS spectroscopy, EDX, X-ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM), and atomic force microscopy (AFM). Based on the absorption measurement, the band gap energy value of the thin film was calculated to be 2,12 eV. XRD analysis indicated that the thin film has a nanocrystalline structure. According to the SEM image, the thin film exhibited a smooth surface morphology across the substrate. Additionally, AFM images revealed a low RMS roughness value, indicating that the Ni-doped Fe₂O₃ thin film has a smooth surface.

To Cite: Salari MA., Merhan Muğlu G., Şenay V., Saritaş S. RF ve DC Magnetron Püskürtme Tekniği ile Büyütülmüş Ni Katkılı α -Fe₂O₃ İnce Filmin Optik, Yapısal ve Morfolojik Özellikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 580-597.

1. Giriş

Demir (Fe), değişken pozitif değerlikli bir geçiş metalidir. Demirin önemli dezavantajlarından biri yüksek yüzey reaktivitesi ve atmosferde oksitlenme eğilimidir (Kalyanaraman ve ark., 1998). Ancak teknolojik uygulamalarda yüzey reaktivitesini önlemek için demir parçacıklarının oksitlenmiş hallerinden yararlanılmaktadır (Can ve ark., 2006). Temel araştırma literatüründe demir (III) oksit, polimorfizm ve nanopartiküllerin manyetik ve yapısal faz geçişlerinin genel çalışması için uygun bir malzemedir. Amorf Fe_2O_3 'ün ve dört polimorfun alfa (α), beta (β), gama (γ) ve epsilon (ϵ) varlığı iyi bilinmektedir (Zboril ve ark., 2002). En yaygın polimorflar, doğada hematit ve maghemit mineralleri olarak bulunan altıgen korundum yapısı " α " ve kübik spinel yapısı " γ "dır. Kübik biksbyit yapısı " β " ve ortorombik yapı " ϵ " gibi diğer polimorfların yanı sıra, tüm formlardaki nanopartiküller son yıllarda sentezlenmiş ve kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Zboril ve ark., 2002; Al-Kuhaili ve ark., 2012). Son zamanlarda demir oksit, ultra yüksek manyetik depolama cihazları (Namai ve ark., 2012), magneto-optik sensörler (Ortega ve ark., 2008), nem ve gaz sensörleri (Chen ve ark., 2005; Chueh ve ark., 2006) ve alan emisyon cihazları gibi çeşitli teknolojik gelişmelere yol açan çeşitli yapısal ve morfolojik formları nedeniyle büyük ilgi görmüştür (Sun ve ark., 1996).

Farklı özelliklere sahip en iyi bilinen demir oksitlerden bazıları arasında wustit (FeO), hematit ($\alpha-Fe_2O_3$) ve maghemit ($\gamma-Fe_2O_3$) yer alır (Ma ve ark., 2021). $\alpha-Fe_2O_3$ eşkenar dörtgen kristal yapıya sahipken (Zboril ve ark., 2002), Fe_3O_4 ve $\gamma-Fe_2O_3$ kübik hücrelere sahiptir (Randrianantoandro ve ark., 2001). Her form, parçacık içi ve parçacıklar arası etkileşimler nedeniyle farklı manyetik davranışlar (Kojima ve Hanada, 1980; Morales ve ark., 1997; Morales ve ark., 1999; Vasquez-Mansilla ve ark., 1999; Özdemir ve ark., 2002; Mørup ve ark., 2003) sergiler (Can ve ark., 2012). Spesifik olarak, $\alpha-Fe_2O_3$ antiferromanyetiktir, Fe_3O_4 ve $\gamma-Fe_2O_3$ ise ferromanyetiktir (Hamed ve ark., 2020). Bunların arasında, $\alpha-Fe_2O_3$ ve $\gamma-Fe_2O_3$ kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve doğada bulunan yaygın polimorflardır (Li ve ark., 2016). $\alpha-Fe_2O_3$ doğada var olan en önemli polimorftur (Basavegowda ve ark., 2017). $\gamma-Fe_2O_3$ ile karşılaştırıldığında $\alpha-Fe_2O_3$ daha karardır (Han ve ark., 2014) ve çeşitli alanlarda daha fazla uygulamaya sahiptir (Mirzaei ve ark., 2016). Hematit ($\alpha-Fe_2O_3$), optik ve manyetik özelliklerine göre Nikel gibi başka bir fraksiyon elementi ile birçok uygulamada kullanılmıştır. Optik açıdan bakıldığında, $\alpha-Fe_2O_3$, görünür aralıkta yer alan bir bant aralığına ($\sim 2,2$ eV) sahiptir ve nispeten yüksek bir kırılma indisine sahiptir. Bu nedenle, güneş enerjisi dönüşümü, elektrokromizm, fotokataliz, girişim filtreleri ve suyun foto-oksidasyonu ve gaza duyarlı malzemeler dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalar için çekici kılmaktadır (Beermann ve ark., 2000; Miller ve ark., 2004; Dghoughi ve ark., 2006; Al-Kuhaili ve ark., 2012). $\alpha-Fe_2O_3$ toprakta bol miktarda bulunması, yüksek korozyon direnci, toksik olmaması, düşük maliyeti (Miyashiro, 1964; Chen ve ark., 2005; Hahn ve ark., 2010) ve önemli miktarda görünür ışığı absorbe etmesini sağlayan küçük bant aralığı nedeniyle gelecek vaat eden bir malzemedir (Beermann ve ark., 2000; Tahir ve ark., 2009; Sahoo ve ark., 2010; Mishra ve Chun, 2015; Wang ve ark., 2019). Ek olarak, son raporlar nanoyapılı $\alpha-Fe_2O_3$ ince filmlerinin hidrojen üretimi için çok eklemli hibrit fotoelektrotlar oluşturmaya uygun olduğunu göstermiştir (Miller ve ark., 2005). Fe_2O_3 nanoyapıları, son

zamanlarda nanopartiküller, nanoçubuklar, nanotabakalar, nanoteller ve kuantum noktaları gibi çeşitli morfolojilerde büyük ilgi görmüştür (Gmucová ve ark., 2008; Khedr ve ark., 2008; Chiriță ve Grozescu, 2009; Guo ve ark., 2009; Gurmen ve ark., 2009; Gurmen ve Ebin, 2010; Durães ve ark., 2011; Ge ve ark., 2011; Hiralal ve ark., 2011; Aydın ve ark., 2012; Shen ve ark., 2012; Vincent ve ark., 2012; Al-Gaashani ve ark., 2013; Garrido-Ramírez ve ark., 2013; Saravanan ve ark., 2013). Ancak Fe₂O₃'ün soğurma katsayısı ve taşıyıcı hareketliliği düşüktür (Emin ve ark., 2016). Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için çeşitli elementlerle doping yapmak veya nanopartiküller kullanmak gibi çeşitli stratejiler kullanılır. (Hu ve ark., 2008; Wang ve ark., 2013; Annamalai ve ark., 2015). Katkısız ve katkılı α -Fe₂O₃ ince filmleri üretmek için spreylendirme (Congolo ve ark., 2020), magnetron püskürtme (Huang ve ark., 2015), moleküler ışın epitaksisi (MBE) (Zhao ve ark., 2011), sol-jel (Hjiri, 2020), kimyasal buhar biriktirme (CVD) (Sharma ve Sharma, 2021) darbeli lazer biriktirme (PLD) (Bhowmik ve ark., 2022), döndürerek kaplama (Grine ve ark., 2022), elektrodepozisyon (Hessam ve Najafisayar, 2019), reaktif buharlaştırma, atomik katman biriktirme ve metal organik kimyasal buhar biriktirme (MOCVD) gibi çeşitli yöntemler rapor edilmiştir (Bohra ve ark., 2007; Nielsch ve ark., 2007; Shen ve ark., 2012). Bu yöntemler arasında, magnetron püskürtme tekniği, düşük maliyeti ve endüstriyel uygulamalar için çeşitli alt tabakalar üzerine ince film biriktirme yeteneği nedeniyle son birkaç on yılda önemli ölçüde ilgi görmüştür. Magnetron püskürtme, yüksek hızlı biriktirme, yoğun film yapısı ve filmde alt tabakaya mükemmel yapışma sunar.

Bu çalışmanın temel motivasyonu, Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmlerinin üretimi ve karakterizasyonu üzerindeki literatürdeki eksiklikleri gidermektir. Özellikle, radyo frekans (RF) ve doğru akım (DC) magnetron püskürtme yöntemleri ile elde edilen bu ince filmlerin özellikleri üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Mevcut literatürde, Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmlerinin farklı yöntemlerle üretilmesi üzerine bazı çalışmalar yapılmış, ancak RF ve DC magnetron ortak püskürtme tekniği ile bu spesifik kombinasyonun detaylı bir şekilde incelenmesi eksik kalmıştır. Önceki çalışmalarda, Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmleri, genellikle sol-jel, kimyasal buhar biriktirme (CVD) veya diğer yöntemlerle sentezlenmiş ve çeşitli uygulamalar için optik ve manyetik özellikleri araştırılmıştır (Kamal ve ark., 2024). Örneğin, bazı araştırmalar Ni'nin, α -Fe₂O₃'ün manyetik özelliklerini geliştirebileceğini ve bu sayede potansiyel uygulamalarda (örneğin, manyetik depolama, sensörler) avantaj sağlayabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada, Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmin, X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizi, UV-VIS spektroskopisi ve X-ray fotoelektron spektroskopisi (XPS) gibi kapsamlı karakterizasyon teknikleri ile incelenmesi, daha önceki çalışmalarda elde edilen verilerin üzerine yeni bulgular eklemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, elde edilen sonuçların, Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmlerinin potansiyel uygulamaları için daha fazla bilgi sağlaması beklenmektedir. Bildiğimiz kadarıyla, magnetron ortak püskürtme yöntemiyle elde edilen Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmlerin yüzey özellikleri üzerine yapılan araştırmalarda eksiklik bulunmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, literatürdeki boşlukları doldurarak, Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmlerinin özelliklerini daha iyi

anlamayı ve bu malzemelerin çeşitli teknolojik uygulamalardaki potansiyelini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Bu çalışma, RF ve DC magnetron ortak püskürtme tekniği ile cam üzerinde üretilen Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmin yapısal ve yüzeysel özelliklerini XRD, SEM ve EDX ile karakterize ederken, optik özelliklerini ise soğurma spektrumu ile incelemiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, RF ve DC magnetron püskürtme tekniği kullanılarak 450 °C alttaş sıcaklığında Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince film, cam altlık üzerine biriktirilmiştir. Her biri 2 inçlik Fe (%99,99 saflık) ve Ni (%99,99 saflık) püskürtme hedefleriyle büyütülmüştür. Bu püskürtme tabancaları, 13,56 MHz frekansında çalışan bir RF plazma kaynağına bağlanmıştır. Fe hedefine 200 W'lık sabit bir RF gücü uygulanırken, Ni hedefindeki DC püskürtme voltajı 80 W uygulanmıştır. Biriktirmeden önce, alttaş ile ince film, tabakası arasında güçlü yapışmayı sağlamak için alttaşa ultrasonik temizleme uygulanmıştır. Hedef ile alttaş arasındaki mesafe her iki hedef için de 57 mm olarak ayarlanmıştır; alttaş plakası vakum odasının tepesine yerleştirilmiştir. Büyütme sırasında alttaşın 3 rpm hızında döndürülmesi sağlanmıştır. Vakum odası, mekanik bir pompa ve turbo moleküler pompa kullanılarak 2×10^{-6} Torr'a boşaltılmıştır ve ardından yüksek saflıkta (%99,99) Ar gazı ile doldurulmuştur. Ar ve O₂ akışları, büyütme esnasında sırasıyla 41 sccm ve 4 sccm akış hızları olarak ayarlanmıştır. Oda basıncı $7,7 \times 10^{-3}$ Torr' da tutulmuştur. Büyütme işlemi 35 dakika sürmüştür ve alttaşın yalnızca üst yüzeyi Ni katkılı α -Fe₂O₃ ile kaplanmıştır. Elde edilen Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filmi, UV-VIS-NIR spektrofotometrisi, EDX, X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile karakterize edilmiştir. Specs-Flex sistem kullanılarak 1486,6 elektron volt X-ışını enerjisinde XPS ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için X-ışınlarının kaynağı olarak görev yapan bir alüminyum anot 15 kV ve 400 W'da çalıştırılmıştır. İnce film yapısını incelemek amacıyla XRD ölçümü için CuK α 1 ($\lambda = 1,5406$ Å) kaynağına sahip bir Panalytical Empyrean cihaz kullanılmıştır. İnce filmin optik karakteristiği LAMBDA 1050 UV/VIS/NIR spektrofotometresi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüzey analizi için Zeiss Sigma300 model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. AFM-500II kullanılarak ince film yüzey topografisi incelenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

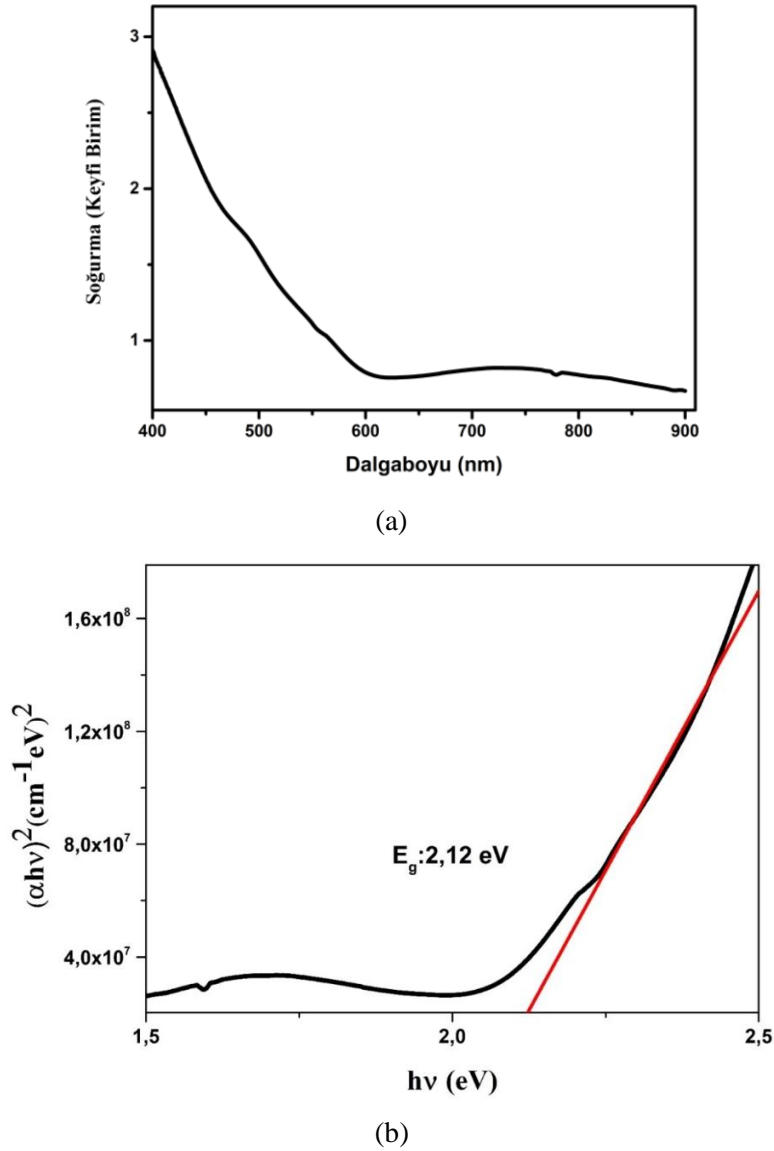
İnce filmin 400-900 nm dalga boyu aralığında yakalanan optik soğurma spektrumu Şekil 1a'da gösterilmektedir. Yarıiletken malzemelerde kenarlara yakın optik absorpsiyon için standart bir bağlantı kullanılarak veriler analiz edilmiştir. Absorpsiyon katsayısı (α) aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir;

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \frac{1}{T}$$

Burada d , ince filmin kalınlığını temsil eder ve T , geçirgenliği belirtir. İnce filmin optik bant aralığı enerjisi (E_g) değeri, yerleşik Tauc denklemi kullanılarak hesaplanmıştır (Tauc ve ark., 1966).

$$\alpha hv = A(hv - E_g)^n$$

Bu denklemde n , optik geçişin türüne göre belirlenen üstür (doğrudan ve dolaylı geçiş için sırasıyla $n=0,5$ ve 2), h Planck sabitidir, hv fotonun enerjisini temsil eder, E_g bant aralığı enerjisini belirtir ve A , yük taşıyıcıların etkin kütlelerine bağlı bir sabittir. Eğrinin doğrusal kısmının ekstrapolasyonu bant aralığı enerjisi (E_g) değeri $(\alpha hv)^2$ ve hv grafiği kullanılarak belirlenmiştir. Birlikte püskürtülmüş ince film için hesaplanan bant aralığı enerji değeri, Şekil 1b'de gösterildiği gibi 2,12 eV olarak hesaplanmıştır. Bu değer, mevcut literatürde rapor edilen deneysel doğrudan optik bant aralığı değeriyle uyumludur (Kayani ve ark., 2015; Demircioğlu ve Demir, 2021).



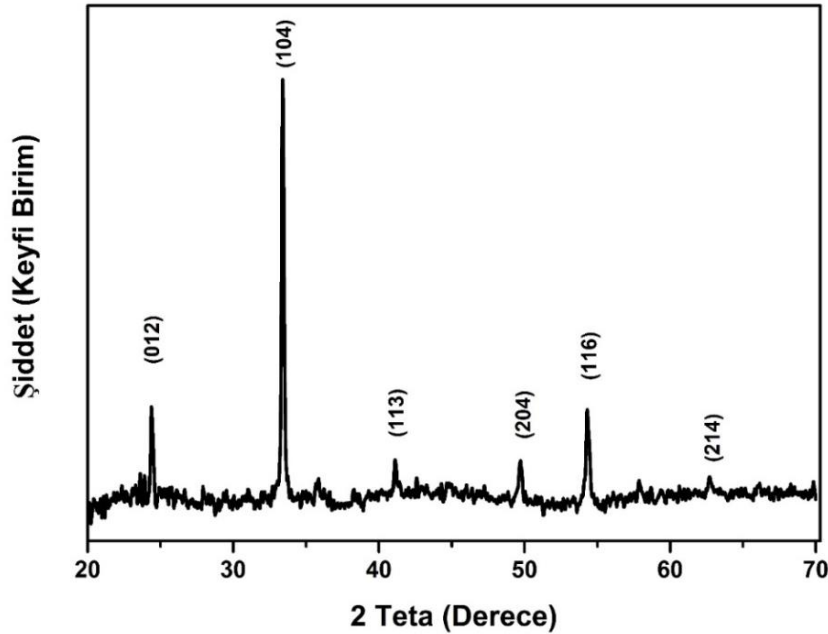
Şekil 1. Üretilen Ni katkılı Fe₂O₃ ince filmin a) soğurma spektrumu b) Tauc eğrisi.

Üretilen Fe₂O₃ ince filmin 20° ila 70° 2θ açılı aralığında X-ışını kırınım modeli Şekil 2'de gösterilmektedir. (JCPDS Kart No. 33-0664'e göre), yaklaşık olarak belirgin 2θ tepe modelleri 24°, 33°, 41°, 49°, 53° ve 63° (012), (104), (113), (204), (116) ve (214)'e karşılık gelmektedir. Fe₂O₃'ün tipik hematit fazını temsil eden düzlemler hem a hem de b'nin 5,034 Å ve c'nin 13,721 Å olduğu yapısal boyutları içerir (More ve ark., 2017; Tian ve ark., 2019; Mokhtari ve ark., 2020; Dayanand ve ark., 2021; Li ve ark., 2021). Pik şiddetlerindeki farklılıklar ve piklerin konumlarındaki kaymalar, Ni atomlarının hematit yapısına girdiği şeklinde yorumlanabilir. Ni ve Fe iyonlarının iyonik yarıçapları oldukça yakındır; sırasıyla 0,069 nm ve 0,064 nm değerlerine sahiptirler. Ancak, değerlikleri farklıdır: Ni +2, Fe ise +3 değerindedir. Bu nedenle, yük dengesinin sağlanması için her iki Fe+3 iyonunun üç Ni+2 iyonuyla yer değiştirmesi gerekecektir. Bu durum, yapıda dislokasyonlar (kusurlar) oluşmasına yol açabilir (Ateş ve ark., 2021).

Ana kırınım pikinin genişliğinin yarısına dayalı olarak ince filmdeki ortalama kristalit boyutunu belirlemek için Scherrer formülü uygulanmıştır (Salari ve ark., 2019a; Salari ve ark., 2019b):

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta}$$

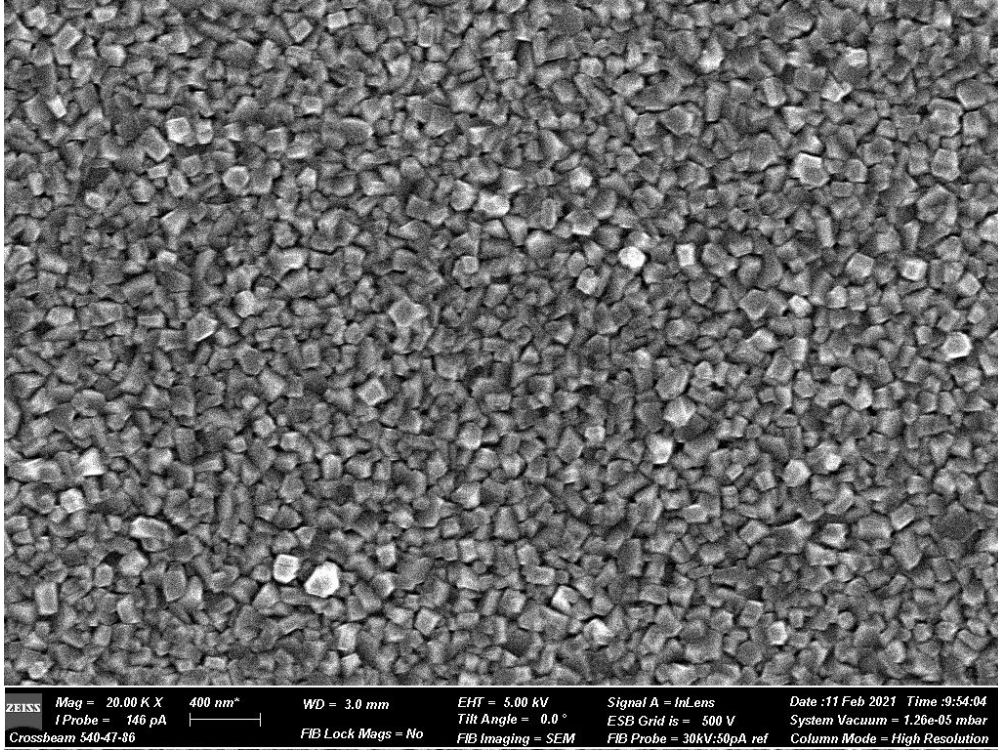
Burada λ, X-ışını dalga boyudur (1,5406 Å), β, kırınım desenindeki (radyan cinsinden) pikin yarı maksimumundaki tam genişliğidir (FWHM), θ kırınım açısıdır ve D kristalit çapıdır. 18 nm'lik ortalama kristalit boyutu, filmin yapısının nanokristalin olduğunu göstermektedir.



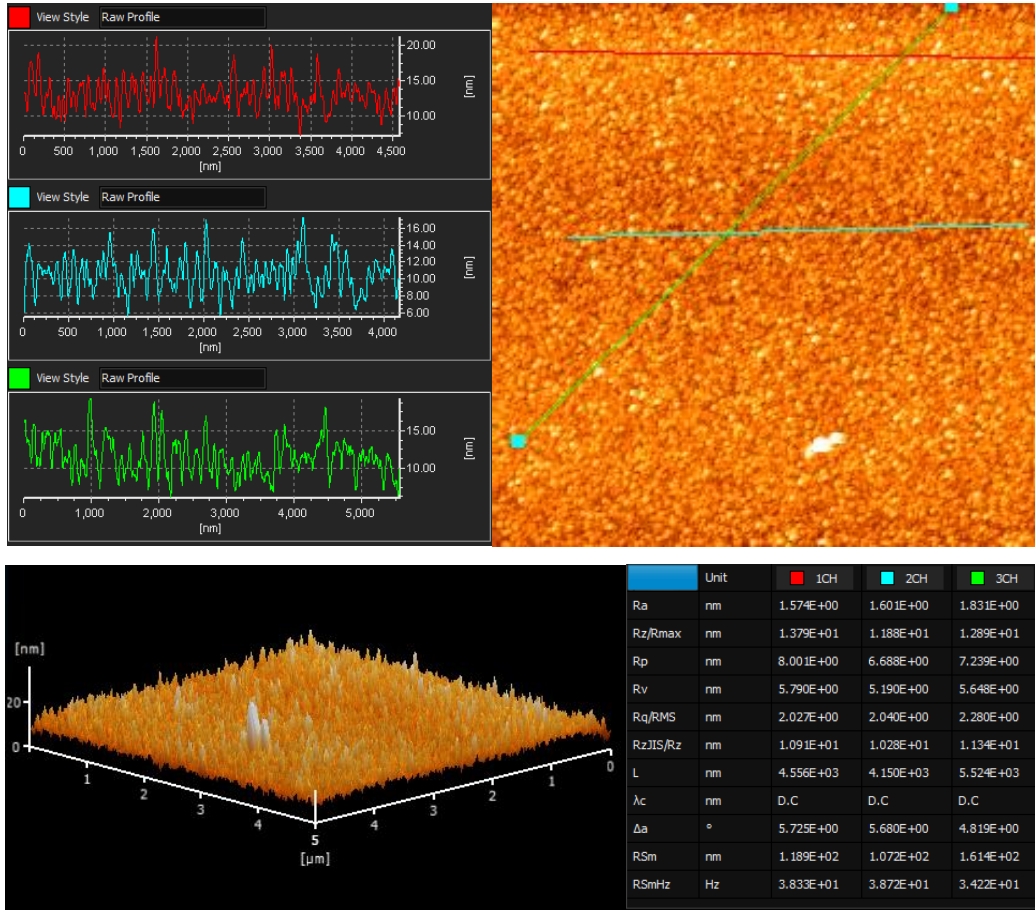
Şekil 2. Üretilen Ni katkılı Fe₂O₃ ince filmin X-ışını kırınımı (XRD) spektrumu.

Ni katkılı Fe_2O_3 ince filmin yüzey morfolojisini araştırmak için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır ve Şekil 3(a)'da elde edilen SEM görüntüsü sunulmuştur. Ni katkılı hematit filmdeki parçacık boyutu, magnetron püskürtme yoluyla üretilen Ni katkılı hematit ince filmlerde gözlemlenen boyutlarla aynı mertebede olup ortalama 80 nm civarındadır (Glasscock ve ark., 2007). Şekil, ince filmin, cam alttaşı net tane sınırları ile karakterize edilen nanoyapılarla etkili bir şekilde kaplayan yoğun bir yapı sergilediğini göstermektedir. Kristal parçacıklarının iyi organize edilmiş hizalanması, büyüyen filmde yüksek kaliteli bir kristal yapı olduğunu göstermiştir. Numunenin yüzey yapısının boş alanlar olmadan genellikle farklı boyut ve morfolojilere sahip nano boyutlu parçacıklardan oluşan kümelenmiş bir düzenlenme sergilediği görülmüştür.

İnce film yüzey özellikleri Şekil 3(b)'de gösterildiği gibi AFM kullanılarak da analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ince filmdeki yük taşınımı için çok önemlidir ve ince film cihaz uygulamalarında herhangi bir yüzey arası katmanın özelliklerini belirler. 2D AFM mikrografları SEM görüntülerine benzerlikler gösterir. 3D gösterimlerde ince film, iğne şeklindeki yapıların tutarlı bir şekilde varlığını göstermektedir. Mikroskobik tepe ve vadilerin yüzey ölçümlerinin kök ortalama karesi, RMS veya yüzey pürüzlülüğünü verir. Bu filmin RMS yüzey pürüzlülüğü yaklaşık 2,12 nm'dir, bu da Ni: Fe_2O_3 filminin düşük bir pürüzlülüğe ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğunu gösterir. Bu değer, aynı zamanda ince filmin düzgün ve homojen bir yüzey morfolojisine sahip olduğunu göstermektedir. Literatürde, farklı yöntemler ve malzemeler kullanılarak elde edilen ince film yüzey pürüzlülük değerleri genellikle 1 nm ile 10 nm arasında değişmektedir (Bhowmik ve ark., 2020). Örneğin, benzer ince filmlerde pürüzlülük değerlerinin 3 nm'den yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Ubale ve Belkhedkar, 2015). Dolayısıyla, bu çalışma, pürüzlülük açısından, Ni katkılı $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 'ün iyi bir yüzey kalitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ni katkılı Fe_2O_3 numunesi, Enerji Dağılımlı X-ışını analizi kullanılarak bir element analizine de tabi tutulmuştur. Şekil 4, hazırlanan numunenin demir, oksijen ve nikel elementlerini içerdiğini göstermektedir.



(a)



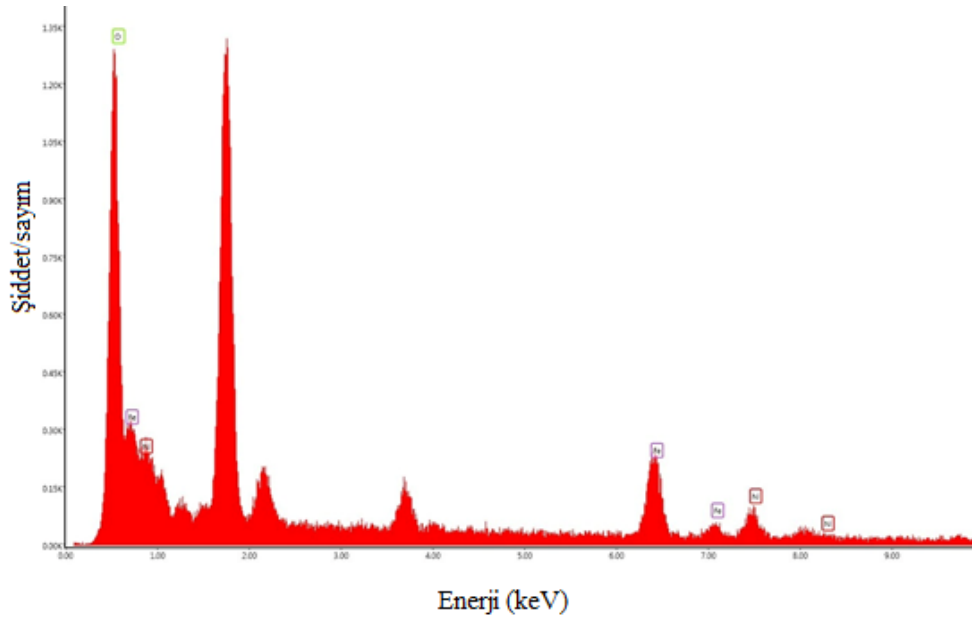
(b)

Şekil 3. Üretilen Ni katkılı Fe_2O_3 ince filmin a) SEM ve b) AFM özellikleri.

İnce filmin kimyasal bileşimi enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizi kullanılarak doğrulanabilir. Elde edilen spektrum Şekil 4'te gösterilmiştir. Tablo 1, element bileşimi sonuçlarını yüzde olarak sunmaktadır. EDX analizi, ince filmin iyi kalitede olduğunu ve XRD sonuçlarıyla tutarlı olarak yaygın olarak karşılaşılan herhangi bir safsızlıktan arınmış olduğunu ortaya koymaktadır. Ni katkılı Fe₂O₃ ince filminde, demir, oksijen ve nikelin atom yüzdeleri (% at) sırasıyla %23,92, %69,79 ve 6,29'dur (Şekil 4). EDX tepeleri ayrıca nikel katkısının varlığını da göstermektedir. Nikelin nominal katkılama oranı, nikelin bir alaşım veya metalurjik süreçteki katkı oranını ifade eder. Bu çalışmada Ni nominal katkılama oranı %6,3'tür.

Tablo 1. EDX spektrumunun sonucu.

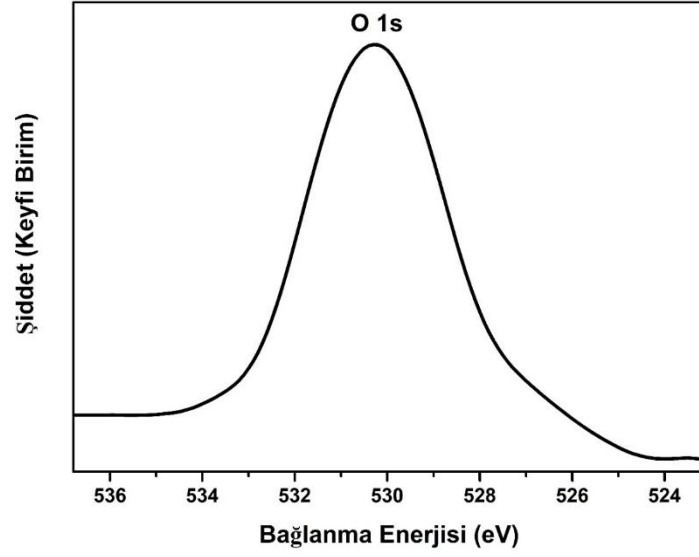
Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	39,23	69,79
Ni K	17,74	6,29
Fe K	43,03	23,92



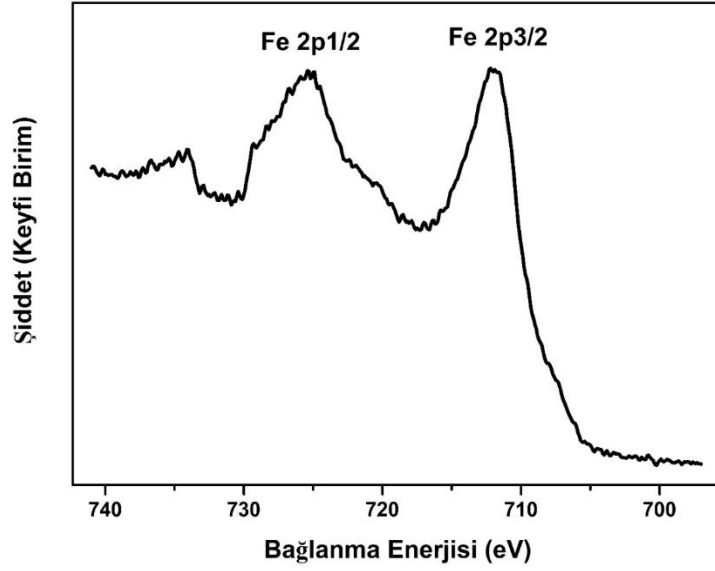
Şekil 4. Üretilen Ni katkılı Fe₂O₃ ince filmin EDX spektrumu.

XPS spektrumu, Ni katkılı Fe₂O₃ ince filmin elektronik bilgilerini analiz etmek için kullanılmıştır. Spektrumdan (Şekil 5) filmlerde Fe, O ve Ni' in mevcut olduğu bulunmuştur. Filmde Fe 2p_{3/2}, Ni 2p_{3/2} ve O 1s'lerin güçlü sinyalleri yakalandı. Şekilde sırasıyla Fe 2p_{3/2} ve Fe 2p_{1/2} ile tutarlı olan 711,50 eV ve 725,62 eV' de pikler gözlemlenmiştir. Fe 2p_{3/2} pikinin, spin-orbital eşleşmesinin neden olduğu Fe 2p_{1/2} pikinden daha keskin ve daha güçlü olduğu açıklanmıştır (Aragón ve ark., 2016). Fe 2p_{3/2} ve Fe 2p_{1/2} arasındaki 14,12 eV'lik enerji farkı literatürle iyi bir uyum içindedir (Zhao ve ark., 2014). Bu iki tepe noktası Fe₂O₃'teki tipik Fe³⁺ durum tepe noktalarıdır (Jiang ve ark., 2015). α-Fe₂O₃'ün oksijen

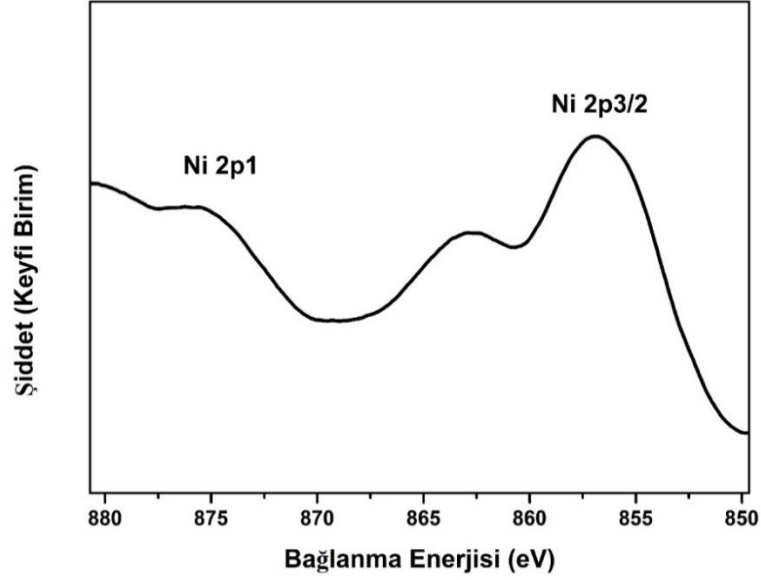
atomları, O1s spektrumunun Şekil 5'te bir tepe noktası (530,30 eV) olarak temsil edilmiştir. Ayrıca şekilde sırasıyla Ni 2p3/2 ve Ni 2p1 ile tutarlı olan 857 eV ve 876 eV'de pikler gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Üretilen Ni katkılı Fe₂O₃ ince filmin a) O, b) Fe ve c) Ni için XPS araştırması.

4. Sonuç

Bu çalışmada, radyo frekans (RF) ve doğru akım (DC) magnetron ortak püskürtme yöntemi kullanılarak Ni katkılı Fe₂O₃'ün ince bir filmi başarıyla sentezlenmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) analizi, Ni katkılı α -Fe₂O₃ ince filminde nanokristal bir yapıya işaret ederken, Raman ölçümleri hematit yapısının varlığını doğrulamıştır. Hematit ince filmin enerji bant aralığı 2,12 eV olarak belirlenmiştir. Bu yönden çalışma, Ni katkılı α -Fe₂O₃'ün nanokristal yapısı ve enerji bant aralığı gibi parametreleri detaylandırarak mevcut literatüre yeni veriler eklemektedir. Özellikle enerji bant aralığının belirlenmesi, malzemenin optik özelliklerini ve potansiyel uygulamalarını anlamak için kritik öneme sahiptir. AFM ve SEM araştırmaları, tüm yüzeyi kaplayan, ince taneli, 80 nm tanecik boyutuna ve 2,12 nm RMS pürüzlülüğe sahip tutarlı bir yüzey morfolojisi ortaya çıkarmıştır. İnce taneli yapının ve düşük pürüzlülüğün varlığı, bu filmlerin elektronik ve optoelektronik uygulamalardaki potansiyelini artırmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, basit bir teknik kullanılarak Fe₂O₃'ü Ni safsızlığı ile katkılama süreci hakkında bilgiler sağlamaktadır.

Teşekkür

Çalışma, herhangi bir kurum ya da kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abdolahpour Salari M., Merhan Muğlu G., şenay V., Saritaş S., Kundakçı M. Analysis of optical, structural, and morphological properties of a Ti-doped α -Fe₂O₃ thin film produced through RF and DC magnetron Co-sputtering. *Ceramics International* 2024; 50(20): 39221-39225.
- Al-Gaashani R., Radiman S., Tabet N., Daud A. Rapid synthesis and optical properties of hematite (α -Fe₂O₃) nanostructures using a simple thermal decomposition method. *Journal of Alloys and Compounds* 2013; 550: 395-401.
- Al-Kuhaili M., Saleem M., Durrani S. Optical properties of iron oxide (α -Fe₂O₃) thin films deposited by the reactive evaporation of iron. *Journal of Alloys and Compounds* 2012; 521: 178-182.
- Annamalai A., Shinde PS., Subramanian A., Kim JY., Kim JH., Choi SH., Lee JS., Jang JS. Bifunctional TiO₂ underlayer for α -Fe₂O₃ nanorod based photoelectrochemical cells: enhanced interface and Ti⁴⁺ doping. *Journal of Materials Chemistry A* 2015; 3(9): 5007-5013.
- Aragón FF., Ardisson JD., Aquino JC., Gonzalez I., Macedo WA., Coaquira JA., Mantilla J., da Silva SW., Morais PC. Effect of the thickness reduction on the structural, surface and magnetic properties of α -Fe₂O₃ thin films. *Thin Solid Films* 2016; 607: 50-54.
- Ateş T., Köytepe S., Bulut N., & Kaygili O. Ni katkısının Fe₂O₃'ün yapısal özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 2021; 5(2), 81-87.
- Aydın C., Mansour SA., Alahmed Z., Yakuphanoğlu F. Structural and optical characterization of sol-gel derived boron doped Fe₂O₃ nanostructured films. *Journal of Sol-gel Science and Technology* 2012; 62: 397-403.
- Basavegowda N., Mishra K., Lee YR. Synthesis, characterization, and catalytic applications of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles as reusable nanocatalyst. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* 2017; 8(2): 025017.
- Beermann N., Vayssieres L., Lindquist SE., Hagfeldt A. Photoelectrochemical studies of oriented nanorod thin films of hematite. *Journal of the Electrochemical Society* 2000; 147(7): 2456.
- Bhowmik R., Choudhary R., Mitra P., Reddy V., Sinha A. Dimensionality induced enhancement of ferromagnetic spin order and ferroelectric polarization in Ga doped α -Fe₂O₃ thin films. *Applied Surface Science* 2022; 573: 151609.
- Bohra M., Venkataramani N., Prasad S., Kumar N., Misra DS., Sahoo SC., Krishnan R. RF sputter deposited nanocrystalline (110) magnetite thin film from α -Fe₂O₃ target. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 2007; 7(6): 2055.

- Can MM., Coşkun M., Fırat TA. Comparative study of nanosized iron oxide particles; magnetite (Fe_3O_4), maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) and hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), using ferromagnetic resonance. *Journal of Alloys and Compounds* 2012; 542: 241-247.
- Can MM., Özcan Ş., Fırat T. Magnetic behaviour of iron nanoparticles passivated by oxidation. *Physica Status Solidi C* 2006; 3(5): 1271-1278.
- Chen J., Xu L., Li W., Gou X. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanotubes in gas sensor and lithium-ion battery applications. *Advanced Materials (Weinheim)* 2005; 17: 582-586.
- Chiriță M., Grozescu I. Fe_2O_3 -nanoparticles, physical properties and their photochemical and photoelectrochemical applications. *Chemical Bulletin of Politehnica* 2009; 54(68).
- Chueh YL., Lai MW., Liang JQ., Chou LJ., Wang ZL. Systematic study of the growth of aligned arrays of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and Fe_3O_4 nanowires by a vapor–solid process. *Advanced Functional Materials* 2006; 16(17): 2243-2251.
- Congolo S., Madito M., Paradzah AT., Harrison AJ., Elnour HMAM., Krüger T., Diale M. Reduction of recombination rates due to volume increasing, annealing, and tetraethoxysilicate treatment in hematite thin films. *Applied Nanoscience* 2020; 10: 1957-1967.
- Dayanand Chahar, M., Pathak DK., Thakur O., Vankar V., Kumar, R. Deposition of single phase polycrystalline $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ thin film on silicon and silica substrates by spray pyrolysis. *Silicon* 2021; 13: 3361-3366.
- Demircioğlu A., Demir KÇ. Effects of annealing on structural, morphological, and corrosion properties of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ thin films. *Journal of Electronic Materials* 2021; 50(5): 2750-2760.
- Dghoughi L., Elidrissi B., Bernede C., Addou M., Lamrani MA., Regragui M., Erguig H. Physico-chemical, optical and electrochemical properties of iron oxide thin films prepared by spray pyrolysis. *Applied Surface Science* 2006; 253(4): 1823-1829.
- Durães L., Moutinho A., Seabra IJ., Costa BF., de Sousa HC., Portugal A. Characterization of iron (iii) oxide/hydroxide nanostructured materials produced by sol–gel technology based on the $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} - \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}_2\text{O}$ system. *Materials Chemistry and Physics* 2011; 130(1-2): 548-560.
- Emin S., De Respinis M., Mavrič T., Dam B., Valant M., Smith W. Photoelectrochemical water splitting with porous $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ thin films prepared from Fe/Fe-oxide nanoparticles. *Applied Catalysis A: General* 2016; 523: 130-138.
- Garrido-Ramírez E., Mora M., Marco J., Ureta-Zañartu M. Characterization of nanostructured allophane clays and their use as support of iron species in a heterogeneous electro-fenton system. *Applied Clay Science* 2013; 86: 153-161.
- Ge J., Tian J., Zhuo L., Chen H., Tang B. Fabrication of self-assembled iron oxide hierarchical nanostructures and their application in water treatment. *Solid State Sciences* 2011; 13(8): 1554-1559.

- Glasscock JA., Barnes PR., Plumb IC., Savvides N. Enhancement of photoelectrochemical hydrogen production from hematite thin films by the introduction of Ti and Si. *The Journal of Physical Chemistry C* 2007; 111(44): 16477-16488.
- Gmucová K., Weis M., Nádaždy V., Capek I., Šatka A., Chitu L., Cirák J., Majkova E. Effect of charged deep states in hydrogenated amorphous silicon on the behavior of iron oxides nanoparticles deposited on its surface. *Applied Surface Science* 2008; 254(21): 7008-7013.
- Grine A., Zehani F., Khennaoui B., Bouremmad F., Zaioune H. Effect of precursor concentration and annealing temperature on the structural, optical and electrical properties of pure α -Fe₂O₃ thin films elaborated by the spin-coating method. *Materials Chemistry and Physics* 2022; 276: 125367.
- Guo Z., Shin K., Karki AB., Young DP., Kaner RB., Hahn HT. Fabrication and characterization of iron oxide nanoparticles filled polypyrrole nanocomposites. *Journal of Nanoparticle Research* 2009; 11: 1441-1452.
- Gurmen S., Ebin B. Production and characterization of the nanostructured hollow iron oxide spheres and nanoparticles by aerosol route. *Journal of Alloys and Compounds* 2010; 492(1-2): 585-589.
- Gurmen S., Ebin B., Stopić S., Friedrich B. Nanocrystalline spherical iron–nickel (Fe–Ni) alloy particles prepared by ultrasonic spray pyrolysis and hydrogen reduction (USP-HR). *Journal of Alloys and Compounds* 2009; 480(2): 529-533.
- Hahn NT., Ye H., Flaherty DW., Bard AJ., Mullins CB. Reactive ballistic deposition of α -Fe₂O₃ thin films for photoelectrochemical water oxidation. *ACS Nano* 2010; 4(4): 1977-1986.
- Hamed MH., Mueller DN., Müller M. Thermal phase design of ultrathin magnetic iron oxide films: from Fe₃O₄ to γ -Fe₂O₃ and FeO. *Journal of Materials Chemistry C* 2020; 8(4): 1335-1343.
- Han R., Li W., Pan W., Zhu M., Zhou D., Li FS. 1D magnetic materials of Fe₃O₄ and Fe with high performance of microwave absorption fabricated by electrospinning method. *Scientific Reports* 2014; 4(1): 7493.
- Hessam R., Najafisayar P. The effects of applied current density and bath concentration on the morphology, crystal structure and optical properties of electrodeposited hematite thin films. *Thin Solid Films* 2019; 692: 137633.
- Hiralal P., Saremi-Yarahmadi S., Bayer BC., Wang H., Hofmann S., Wijayantha KU., Amaratunga GA. Nanostructured hematite photoelectrochemical electrodes prepared by the low temperature thermal oxidation of iron. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2011; 95(7): 1819-1825.
- Hjiri M. Highly sensitive NO₂ gas sensor based on hematite nanoparticles synthesized by sol–gel technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2020; 31(6): 5025-5031.
- Hu YS., Kleiman-Shwarscstein A., Forman AJ., Hazen D., Park JN., McFarland EW. Pt-doped α -Fe₂O₃ thin films active for photoelectrochemical water splitting. *Chemistry of Materials* 2008; 20(12): 3803-3805.

- Huang MC., Chang WS., Lin JC., Chang YH., Wu CC. Magnetron sputtering process of carbon-doped α -Fe₂O₃ thin films for photoelectrochemical water splitting. *Journal of Alloys and Compounds* 2015; 636: 176-182.
- Jiang Z., Jiang D., Wei W., Yan Z., Xie J. Natural carbon nanodots assisted development of size-tunable metal (Pd, Ag) nanoparticles grafted on bionic dendritic α -Fe₂O₃ for cooperative catalytic applications. *Journal of Materials Chemistry A* 2015; 3(46): 23607-23620.
- Kalyanaraman R., Yoo S., Krupashankara M., Sudarshan T., Dowding R. Synthesis and consolidation of iron nanopowders. *Nanostructured Materials* 1998; 10(8): 1379-1392.
- Kamal A., Razia ET., Zahra M., Sardar S., Mumtaz A. Monitoring the synergistic effect of Mn/Ni Co-doping and morphological engineering in α -Fe₂O₃ for energy storage capacity as battery type electrode material. *International Journal of Hydrogen Energy* 2024; 88, 1280-1292.
- Kayani ZN., Afzal A., Butt MZ., Batool I., Arshad S., Ali Y., Riaz S., Naseem S. Structural, optical and magnetic properties of iron oxide nano-particles. *Materials Today: Proceedings* 2015; 2(10): 5660-5663.
- Khedr M., Halim KA., Soliman N. Effect of temperature on the kinetics of acetylene decomposition over reduced iron oxide catalyst for the production of carbon nanotubes. *Applied Surface Science* 2008; 255(5): 2375-2381.
- Kojima H., Hanada K. Origin of coercivity changes during the oxidation of Fe₃O₄ to γ -Fe₂O₃. *IEEE Transactions on Magnetism* 1980; 16(1): 11-13.
- Li M., Liu H., Pang S., Yan P., Liu M., Ding M., Zhang B. Facile fabrication of three-dimensional fusiform-like α -Fe₂O₃ for enhanced photocatalytic performance. *Nanomaterials* 2021; 11(10): 2650.
- Li SS., Li WJ., Jiang TJ., Liu ZG., Chen X., Cong HP., Liu JH., Huang YY., Li LN., Huang XJ. Iron oxide with different crystal phases (α - and γ -Fe₂O₃) in electroanalysis and ultrasensitive and selective detection of lead (II): an advancing approach using XPS and EXAFS. *Analytical Chemistry* 2016; 88(1): 906-914.
- Ma Y., Xie XY., Chen HY., Zhang TH., Debela TT. The growth mode of α -Fe₂O₃ thin films by DC magnetron sputtering. *Vacuum* 2021; 194: 110625.
- Miller EL., Paluselli D., Marsen B., Rocheleau RE. Low-temperature reactively sputtered iron oxide for thin film devices. *Thin Solid Films* 2004; 466(1-2): 307-313.
- Miller EL., Paluselli D., Marsen B., Rocheleau RE. Development of reactively sputtered metal oxide films for hydrogen-producing hybrid multijunction photoelectrodes. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2005; 88(2): 131-144.
- Mirzaei A., Hashemi B., Janghorban K. α -Fe₂O₃ based nanomaterials as gas sensors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2016; 27: 3109-3144.
- Mishra M., Chun DM. α -Fe₂O₃ as a photocatalytic material: A review. *Applied Catalysis A: General* 2015; 498: 126-141.

- Miyashiro A. Oxidation and reduction in the Earth's crust with special reference to the role of graphite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1964; 28(5): 717-729.
- Mokhtari S., Dokhan N., Omeiri S., Berkane B., Trari M. Influence of pretreatment on the properties of α -Fe₂O₃ and the effect on photocatalytic degradation of methylene blue under visible light. *Water Science and Technology* 2020; 82(11): 2415-2424.
- Morales M., Serna C., Bødker F., Mørup S. Spin canting due to structural disorder in maghemite. *Journal of Physics: Condensed Matter* 1997; 9(25): 5461.
- Morales MDP., Veintemillas-Verdaguer S., Montero M., Serna C., Roig A., Casas L., Martínez B., Sandiumenge F. Surface and internal spin canting in γ -Fe₂O₃ nanoparticles. *Chemistry of Materials* 1999; 11(11): 3058-3064.
- More P., Jadhav P., Ghanwat A., Dhole I., Navale Y., Patil V. Spray synthesized hydrophobic α -Fe₂O₃ thin film electrodes for supercapacitor application. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2017; 28: 17839-17848.
- MØrup S., Frandsen C., BØdker F., Klausen SN., Lefmann K., LindgÅrd PA., Hansen MF. Magnetic properties of nanoparticles of antiferromagnetic materials. Paper presented at the Mössbauer Spectroscopy: Proceedings of the Fifth Seeheim Workshop, held in Seeheim, Germany 2003, 21–25 May 2002.
- Namai A., Yoshikiyo M., Yamada K., Sakurai S., Goto T., Yoshida T., Miyazaki T., Nakajima M., Suemoto T., Tokoro H., Ohkoshi S. Hard magnetic ferrite with a gigantic coercivity and high frequency millimetre wave rotation. *Nature Communications* 2012; 3(1): 1035.
- Nielsch K., Bachmann J., Daub M., Jing J., Knez M., Gösele U., Barth S., Mathur S., Escrig J., Altbir D. Ferromagnetic nanostructures by atomic layer deposition: From thin films towards core-shell nanotubes. *ECS Transactions* 2007; 11(7): 139.
- Ortega D., Garitaonandia J., Barrera-Solano C., Dominguez M. Thermal evolution of the ferromagnetic resonance in Fe₂O₃/SiO₂ nanocomposites for magneto-optical sensors. *Sensors and Actuators A: Physical* 2008; 142(2): 554-560.
- Özdemir Ö., Dunlop DJ., Moskowitz BM. Changes in remanence, coercivity and domain state at low temperature in magnetite. *Earth and Planetary Science Letters* 2002; 194(3-4): 343-358.
- Randrianantoandro N., Mercier A., Hervieu M., Greneche J. Direct phase transformation from hematite to maghemite during high energy ball milling. *Materials Letters* 2001; 47(3): 150-158.
- Sahoo S., Agarwal K., Singh A., Polke B., Raha K. Characterization of γ - and α -Fe₂O₃ nano powders synthesized by emulsion precipitation-calcination route and rheological behaviour of α -Fe₂O₃. *International Journal of Engineering, Science and Technology* 2010; 2(8): 118-126.
- Salari M., Sağlam M., Baltakesmez A., Güzeldir B. Effect of electron radiation on electrical parameters of Zn/n-Si/Au–Sb and Zn/ZnO/n-Si/Au–Sb diodes. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2019a; 319: 667-678.

- Salari M., Sağlam M., Güzeldir B. The protection from the effects of gamma rays of metal-semiconductor diodes by means of ZnO thin interface layer. *Radiation Physics and Chemistry* 2019b; 165: 108416.
- Saravanan P., Hsu JH., Sivaprahasam D., Kamat S. Structural and magnetic properties of γ -Fe₂O₃ nanostructured compacts processed by spark plasma sintering. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2013; 346: 175-177.
- Sharma B., Sharma A. Enhanced surface dynamics and magnetic switching of α -Fe₂O₃ films prepared by laser assisted chemical vapor deposition. *Applied Surface Science* 2021; 567: 150724.
- Shen S., Jiang J., Guo P., Kronawitter CX., Mao SS., Guo L. Effect of Cr doping on the photoelectrochemical performance of hematite nanorod photoanodes. *Nano Energy* 2012; 1(5): 732-741.
- Sun HT., Cantalini C., Faccio M., Pelino M., Catalano M., Tapfer L. Porous silica-coated α -Fe₂O₃ ceramics for humidity measurement at elevated temperature. *Journal of the American Ceramic Society* 1996; 79(4): 927-937.
- Tahir AA., Wijayantha KU., Saremi-Yarahmadi S., Mazhar M., McKee V. Nanostructured α -Fe₂O₃ thin films for photoelectrochemical hydrogen generation. *Chemistry of Materials* 2009; 21(16): 3763-3772.
- Tauc J., Grigorovici R., Vancu A. Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. *Physica Status Solidi* 1966; 15(2): 627-637.
- Tian J., Xue Y., Yu X., Pei Y., Zhang H., Wang J. Binding Fe₂O₃ nanoparticles in polydopamine-reduced graphene as negative electrode materials for high-performance asymmetric supercapacitors. *Journal of Nanoparticle Research* 2019; 21: 1-12.
- Ubale A., Belkhedkar M. Size dependent physical properties of nanostructured α -Fe₂O₃ thin films grown by successive ionic layer adsorption and reaction method for antibacterial application. *Journal of Materials Science & Technology* 2015; 31(1): 1-9.
- Vasquez MM., Zysler R., Arciprete C., Dimitrijewits M., Saragovi C., Greneche J. Magnetic interaction evidence in α -Fe₂O₃ nanoparticles by magnetization and Mössbauer measurements. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 1999; 204(1-2); 29-35.
- Vincent T., Gross M., Dotan H., Rothschild A. Thermally oxidized iron oxide nanoarchitectures for hydrogen production by solar-induced water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy* 2012; 37(9): 8102-8109.
- Wang H., Mao J., Zhang Z., Zhang Q., Zhang L., Zhang W., Li P. Photocatalytic degradation of deoxynivalenol over dendritic-like α -Fe₂O₃ under visible light irradiation. *Toxins* 2019; 11(2): 105.
- Wang L., Lee CY., Schmuki P. Ti and Sn co-doped anodic α -Fe₂O₃ films for efficient water splitting. *Electrochemistry Communications* 2013; 30: 21-25.

- Zboril R., Mashlan M., Petridis D. Iron (III) oxides from thermal processes synthesis, structural and magnetic properties, Mössbauer spectroscopy characterization, and applications. *Chemistry of Materials* 2002; 14(3): 969-982.
- Zhao B., Kaspar T., Droubay T., McCloy J., Bowden M., Shutthanandan V., Heald S., Chambers S. Electrical transport properties of Ti-doped Fe₂O₃ (0001) epitaxial films. *Physical Review B—Condensed Matter and Materials Physics* 2011; 84(24): 245325.
- Zhao P., Li W., Wang G., Yu B., Li X., Bai J., Ren Z. Facile hydrothermal fabrication of nitrogen-doped graphene/Fe₂O₃ composites as high performance electrode materials for supercapacitor. *Journal of Alloys and Compounds* 2014; 604: 87-93.

Yapay Zekâ Destekli Konuşma Modellerinin Yapım Yönetimi Eğitimindeki Etkililiğinin Değerlendirilmesi: ChatGPT ve Öğrenci Performanslarının Karşılaştırmalı Bir İncelemesi

Olca GENÇ^{1*}

¹Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı İşletmesi Anabilim Dalı, Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0002-5162-2665>

*Sorumlu yazar: olcaygenc@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 29.08.2024

Kabul tarihi: 01.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

AI

Eğitim

ChatGPT

Yapı işletmesi

ÖZ

Bu çalışma, yapay zekâ konuşma araçlarından ChatGPT-4'ün yapı işletmesi derslerindeki öğrenme başarılarına etkilerini incelemektedir. Şantiye Tekniği dersi özelinde, öğrenciler ve ChatGPT-4'e aynı sınav soruları uygulanmıştır. Ara sınav ve final sınavı olmak üzere iki aşamada yapılan bu değerlendirmede, hem ChatGPT-4'ün hem de öğrencilerin performansları karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Araştırma, yapay zekânın ara sınavda öğrencilerden daha iyi performans gösterdiğini, ancak final sınavında düşüş yaşadığını, bu nedenle farklı sınav ortamlarına uyum sağlamakta sınırlamalar olduğunu ortaya koymaktadır. Hem ChatGPT-4 hem de öğrenciler dersin geçme kriterlerini karşılayamamıştır. Çalışma, yapay zekânın eğitimde daha etkili entegrasyonu için geliştirilmesi ve bu süreçte etik boyutların göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır.

Evaluating the Effectiveness of AI-Powered Conversational Models in Construction Management Education: A Comparative Investigation of Student Performances and ChatGPT

Research Article

Article History:

Received: 29.08.2024

Accepted: 01.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

AI

Education

ChatGPT

Construction management

ABSTRACT

This study examines the impact of one of the AI conversational tools, ChatGPT-4, on learning outcomes in construction management courses. Focusing on the Site Management course, the same exam questions were administered to both students and ChatGPT-4. This evaluation was conducted in two phases midterm and final exams where the performances of both ChatGPT-4 and the students were compared and analyzed. The research reveals that while the AI outperformed students in the midterm exam, it showed a decline in performance during the final exam, indicating limitations in adapting to different exam environments. Neither ChatGPT-4 nor the students met the course passing criteria. The study emphasizes the need for further development of AI for more effective integration into education, with a focus on considering ethical dimensions in this process.

To Cite: Genç O. Evaluating the Effectiveness of AI-Powered Conversational Models in Construction Management Education: A Comparative Investigation of Student Performances and ChatGPT. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 598-609.

1. Introduction

Over the past decade, there have been notable advancements in construction education, focusing on key areas such as Student-Centered Learning (SCL), Building Information Modeling (BIM), Sustainability, Active Learning (AL), Virtual Reality (VR), Project Management (PM), and the Incorporation of lean construction (LC) practices into industry processes (Aliu and Aigbavboa, 2023). These areas highlight

a shift towards more interactive, technology-driven, and student-oriented educational practices, paving the way for the adoption of artificial intelligence (AI) conversational models. Innovative teaching methods, including structured role-playing, have been investigated to enhance problem-solving abilities in civil engineering and construction management education (Zhang et al., 2019), demonstrating the field's openness to new approaches that boost student engagement and learning outcomes. Additionally, the creation of makerspaces in educational institutions, which emphasize organization, management, tutor support, funding, and resource sharing (Dong et al., 2022), underscores the trend towards practical, hands-on learning experiences that align well with the interactive nature of AI tools. The importance of deep collaboration between schools and enterprises in higher education, which fosters the evolution of educational concepts and talent development strategies (Hu et al., 2023), reflects an increasing focus on aligning educational goals with industry requirements. This alignment supports the integration of AI in education, as AI tools can offer realistic scenarios and problem-solving opportunities that are directly applicable to industry practices. Furthermore, the development of online education platforms that use advanced technologies for intelligent data interaction (Ai, 2022) signals the sector's move towards digitalization and the crucial role that AI conversational models could play in this transformation.

Among the diverse array of AI tools, ChatGPT stands out as a prominent example. Developed by OpenAI, it is part of the Generative Pretrained Transformer (GPT) series, designed to generate text that closely resembles human writing in response to user input (Cao et al., 2023). This tool possesses the capacity to understand and respond to a wide spectrum of queries, making it an invaluable resource across various fields. The progression from ChatGPT-3.5 to the more advanced ChatGPT-4 marks a significant milestone in AI development, with ChatGPT-4 demonstrating enhanced comprehension, precision, and contextual awareness (Rahaman et al., 2023). The incorporation of AI in education, particularly through conversational AI models such as ChatGPT, signifies a major shift in pedagogical strategies and learning outcomes across various disciplines, including construction management education. The literature review underscores the expanding role of AI in enriching learning experiences, addressing educational challenges, and capitalizing on opportunities within academic settings. In the medical field, AI-powered chatbots are employed for complex dialogue management and conversational flexibility, working alongside healthcare professionals to reduce costs, streamline workflows, and improve patient outcomes (Xu et al., in press). This application serves as a pertinent analogy for the potential of conversational AI in construction management education, suggesting that similar benefits, such as enhanced access to information, improved learning efficiency, and personalized educational experiences, could be realized. In civil engineering, ChatGPT is being applied to various tasks including design and planning, structural analysis, code compliance, construction management, knowledge management, education, and Research (Aluga, 2023). The highlighted advantages include the improvement of infrastructure development and the resolution of challenges, while also recognizing limitations such as bias and transparency concerns. These insights emphasize the necessity for careful integration of conversational AI into construction management education to ensure it complements

rather than replaces traditional teaching methods and expert consultation. Furthermore, conversational AI models like ChatGPT have shown potential to revolutionize clinical management and medical education by enhancing learning outcomes through providing access to extensive medical knowledge and supporting decision-making processes (Saba and Sundus, 2023). This evidence bolsters the argument that conversational AI can significantly influence learning outcomes in construction management education by providing similar access to specialized knowledge and facilitating real-time learning and problem-solving. A review paper on the practical application of ChatGPT in psychiatry for treatment planning and psychoeducation (Vahedifard et al., 2023) further exemplifies the potential of conversational AI to contribute to improved mental health outcomes. Although this research focuses on psychiatry, the principles of integrating ChatGPT to support education and decision-making are applicable to construction management education, highlighting the versatility of conversational AI across different educational contexts. A pilot study assessing ChatGPT's effectiveness for patient education on dermatological diseases reported a high readability ease score and a higher-than-expected text similarity index (Mondal et al., 2023). This finding indicates that conversational AI can effectively convey complex information in an accessible manner, a capability that could be leveraged to explain construction management concepts to students. The literature review emphasizes the transformative potential of conversational AI in education, as evidenced by its applications in fields ranging from medicine to civil engineering. For construction management education, the integration of conversational AI offers a pathway to enhanced learning outcomes through personalized educational experiences, efficient access to information, and improved engagement. However, the review also stresses the importance of addressing challenges such as bias and ensuring the responsible integration of AI tools to complement traditional educational methods.

Although significant interest has been shown in applying AI techniques to infrastructure projects, a thorough aggregation, categorization, analysis, and examination of the existing research highlights a lack of comprehensive understanding regarding the full capabilities and constraints of AI applications in this field. Pinpointing these deficiencies is essential for guiding future research towards areas that are either not fully explored or overlooked, thereby improving the incorporation of AI in construction management education (Abdel-Kader et al., 2022). Studies on enrollment trends and academic achievements within construction management programs at the undergraduate level have identified gaps in opportunities, especially for Latino/Hispanic and racially minoritized students. These observations suggest the need for more inclusive educational approaches and underscore the potential of AI in addressing these inequalities (Burgoon et al., 2024). An analysis of the discrepancies between the current Building Information Modeling (BIM) education in universities and the industry's demands for graduate engineers has shown a significant gap, suggesting that the integration of AI tools and methods into educational frameworks could bridge this gap. This analysis emphasizes the importance of tailoring educational content to meet industry needs to boost the employability and competency of graduates in the construction management sector (Sacks and Pikas, 2013). Additionally, the identification of

principal obstacles preventing Higher Education Institutions from adjusting to industry-driven changes in Irish Construction Management Programs highlights a research gap in understanding and mitigating these challenges. Further exploration of these issues could yield insights into how AI might assist educational institutions in keeping pace with industry trends and requirements (O'Neill et al., 2024). Thus, the research gaps identified serve as a guideline for future studies aiming to delve into the integration of AI in construction management education. Addressing these gaps will not only improve the quality and pertinence of educational programs but also prepare future professionals with the necessary skills and knowledge to thrive in the changing landscape of the construction industry.

This study aims to comprehensively assess the effectiveness of AI conversational models in enhancing learning outcomes within construction management courses, identifying effective pedagogical strategies for AI integration, and evaluating AI tools' acceptance among students and faculty. Research involving natural language processing models predominantly utilizes the ChatGPT-3 or ChatGPT-3.5, which are developed by OpenAI and available freely. However, this study employs the most advanced iteration of its kind, the paid version of ChatGPT-4 to explore its boundaries. By comparing AI-assisted learning to traditional methods, the study seeks to quantify AI's impact on educational outcomes, exploring its role in fostering inclusivity and addressing opportunity gaps among diverse student populations. Additionally, it aims to develop a framework for embedding AI tools into construction management curricula, aligning with industry demands and future skills requirements, and to examine the long-term effects of AI integration on pedagogical practices in construction management education. Through a mixed-methods approach, this research will contribute valuable insights into the effective use of AI in educational settings, offering recommendations for educators, policymakers, and industry stakeholders. The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 describes the materials and methods; Section 3 presents and discusses the results; and finally, Section 4 concludes the paper.

2. Materials and Methodology

The aim of this study is to evaluate and compare the performance of ChatGPT-4, one of the leading digital assistants, with that of undergraduate students in construction management courses. The participants are students from the Civil Engineering Department at a state university in Asia who have previously taken these courses. The department offers a range of courses in geotechnics, hydraulics, mechanics, transportation, structures, building materials, and construction management. This study specifically focuses on comparing student performance in the Site Management course with that of ChatGPT-4. At the university, student success in courses is determined through two exams: a midterm and a final. The final grade is calculated by combining 40% of the midterm score with 60% of the final score. A student is considered successful in a course if their average grade is 60 or above; otherwise, they are deemed unsuccessful. In the Site Management course, 46 students were enrolled, all of whom took the midterm, while two missed the final exam. The enrollment and exam attendance statistics are detailed in Table 1.

Table 1. Course enrollment and exam attendance statistics

Course	Total Students	Absent from Midterm	Absent from Final
Site Management	46	0	2

Both the midterm and final exams across all courses are administered as multiple-choice (7 choices) tests. Specifically, the midterm and final exams for the Site Management course each consist of 20 questions. While these exams are in multiple-choice format, not all questions rely solely on text; some require problem-solving skills. The same set of midterm and final exam questions from the Site Management course were also presented to ChatGPT-4 (each question was inputted into ChatGPT-4 as a separate, independent prompt using the "New Chat" function), and the results were subsequently compared and analyzed alongside the students' performance. The breakdown of the topics and number of questions asked in midterm and final exams are presented in Table 2. Figure 1 provides an overview of the study's methodology.

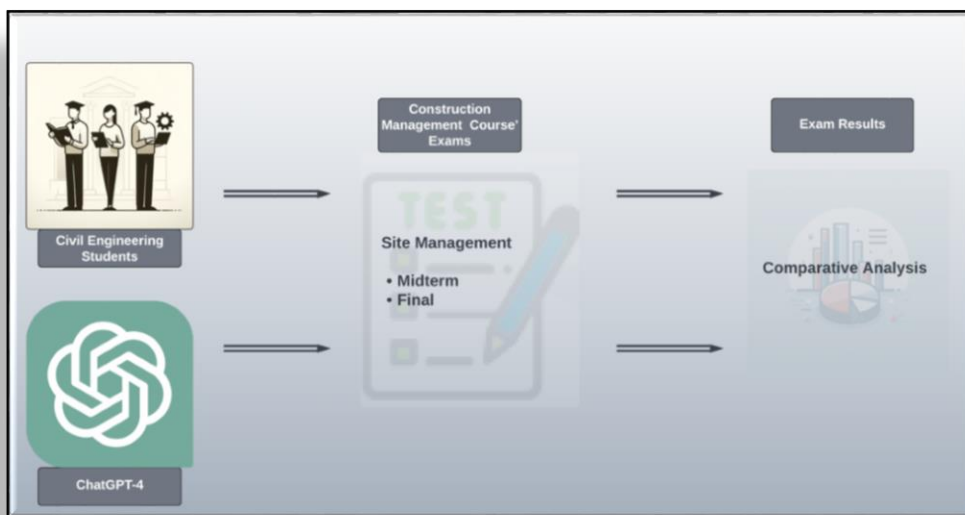


Figure 1. Methodology illustration

Table 2. The breakdown of the site management course examination topics

Knowledge	Number of Question	
	Midterm	Final
Construction Supervision and Regulation	4	7
Project Management and Planning	4	4
Implementation Projects and Calculation	3	1
Construction Terms and Definitions	5	5
Tendering and Contract Procedures	2	2
Construction Machinery and Equipment	2	1
Total	20	20

3. Results and Discussion

Figure 2 presents a sample exam question posed to ChatGPT-4, along with its response. Table 3 presents a comparison of performances on the Site Management course exams between ChatGPT-4 and the average student performance. Figure 3 shows midterm and final exam performances of ChatGPT-4 and students while Figure 4 presents the distribution of the test results.

You

According to the given arrow diagram, which activities are critical?

a) A, B, and C
 b) A, B, C, and D
 c) A and C
 d) A, C, and E
 e) Only D
 f) None of them
 g) All of them

ChatGPT

In the arrow diagram (also known as an activity network diagram), the critical path is the longest path through the network from start to finish. The critical path determines the shortest possible duration to complete the project. Any delay in the critical activities would delay the entire project. The critical activities are those with no slack time; that is, they cannot be delayed without affecting the project's completion time.

To determine the critical path, we need to carry out the following steps:

1. Identify all paths from the start node to the finish node.
2. Calculate the duration of each path by summing the durations of all activities in the path.
3. The path with the longest duration is the critical path.

From the provided diagram, let's identify the paths and their durations:

- Path 1: A → B → D (3 + 2 + 1 = 6)
- Path 2: A → C → E (3 + 1 + 2 = 6)

Both paths have the same duration. Therefore, the activities on both paths are critical. The critical activities are A, B, C, D, and E.

Thus, the correct answer is not listed in the options provided, but if we were to choose from the given answers, the closest one would be:

b) A, B, C, and D

Figure 2. Sample site management course exam question posed to AI tool and its response.

Table 3. Performances on the site management course exams: ChatGPT-4 and students

	Midterm				Final				Overall Score (%)	Pass/Fail
	Correct (N)	Correct (%)	Wrong (N)	Wrong (%)	Correct (N)	Correct (%)	Wrong (N)	Wrong (%)		
ChatGP T-4	11	55	9	45	8	40	12	60	46	Fail
Student	9.74	49	10.26	51	8.75	44	11.25	56	45.73	Fail

The midterm exam scores ranged from 49% to 55%, with ChatGPT-4 achieving the highest score of 55%, making it the top performer in the midterm. The students' scores were both the highest and lowest

within this range, with the average student accuracy rate being 49%. For the final exam, the scores ranged from 40% to 44%. In this instance, the average student performance surpassed ChatGPT-4, with students achieving the highest score of 44%, leading the final exam results. Both the maximum and minimum scores were held by students. Overall, neither ChatGPT-4 nor the average student met the passing criteria for the course.

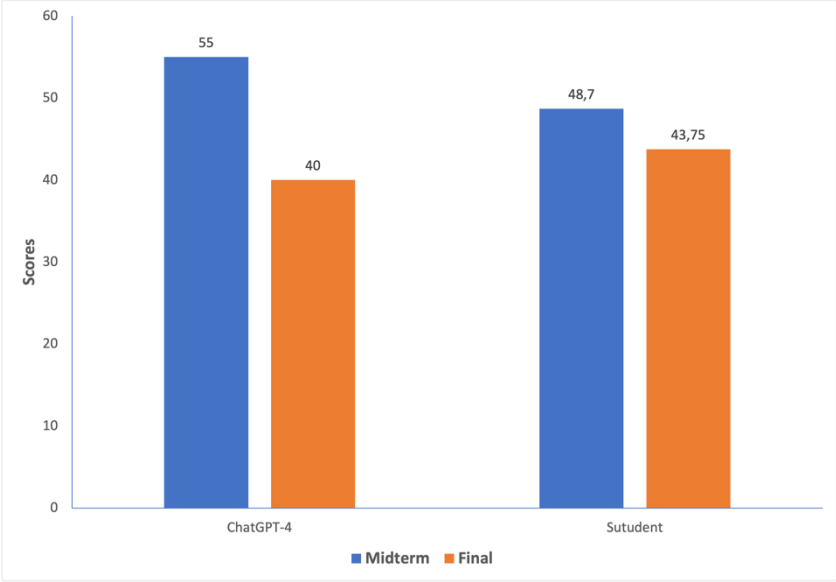


Figure 3. Midterm and final exam performances of ChatGPT-4 and students on Site Management course

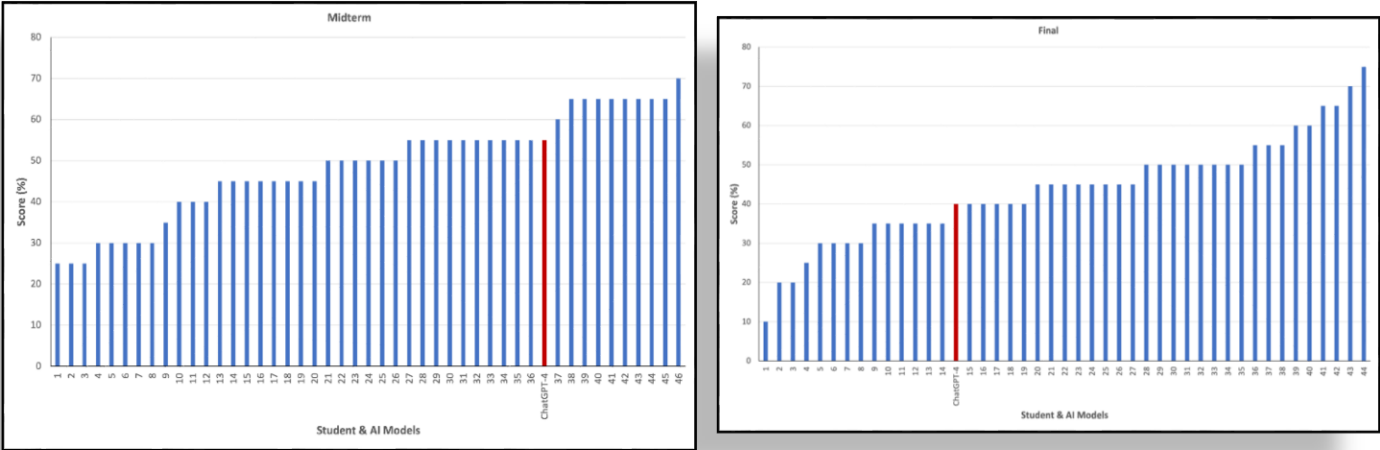


Figure 4. The distribution of the Site Management course’ test results

Table 4 compares ChatGPT-4's performance across six knowledge categories in both midterm and final exams. When table is examined, it is seen that midterm and final exam results reveal differences in accuracy across various knowledge areas. During the midterm, ChatGPT-4 answered 20 questions, achieving 11 correct and 9 incorrect answers. It performed strongly in "Construction Supervision and

Regulation" and "Tendering and Contract Procedures," achieving 100% accuracy in these areas. However, ChatGPT-4 struggled with "Project Management and Planning" and "Construction Machinery and Equipment," where it scored 0%, incorrectly answering all related questions. In the final exam, covering a new set of 20 questions, ChatGPT-4's performance declined, with only 8 correct answers and 12 incorrect. Notably, its accuracy in "Construction Supervision and Regulation" dropped significantly to 43%, despite being a strong area in the midterm. Furthermore, "Project Management and Planning" continued to be a challenge, maintaining a 0% accuracy rate across both exams. There was a slight improvement in "Construction Terms and Definitions," reaching 60% accuracy, suggesting some retention or increased understanding in that area. However, areas such as "Implementation Projects and Calculation" and "Construction Machinery and Equipment" continued to show weaknesses, with ChatGPT-4 providing mostly incorrect answers. This decline in final exam performance may be attributed to several factors: possible increased complexity of questions in the final, broader coverage of topics that may have diluted focus, or even limitations in ChatGPT-4's ability to generalize knowledge across broader contexts without continuous exposure. Overall, while ChatGPT-4 showed initial strengths, its final exam results indicate challenges in consistently applying and retaining knowledge across different areas in site management.

Table 4. ChatGPT-4's performance across six knowledge categories

Knowledge	Midterm					Final				
	Number of Questions	Correct (N)	Correct (%)	Wrong (N)	Wrong (%)	Number of Questions	Correct (N)	Correct (%)	Wrong (N)	Wrong (%)
Construction Supervision and Regulation	4	4	100	0	0	7	3	43	4	57
Project Management and Planning	4	0	0	4	100	4	0	0	4	100
Implementation Projects and Calculation	3	2	67	1	33	1	0	0	1	100
Construction Terms and Definitions	5	3	60	2	40	5	3	60	2	40
Tendering and Contract Procedures	2	2	100	0	0	2	2	100	0	0
Construction Machinery and Equipment	2	0	0	2	100	1	0	0	1	100
Total	20	11	-	9	-	20	8	-	12	-

The test results for the Site Management course indicate that ChatGPT-4, which initially takes a modest lead in the midterm exam, experiences a significant decline in its correct answers by the time of the final exam. This decrease could imply that the AI might be more adept at handling the content or question style of the midterm compared to the final exam, or it might highlight a discrepancy in the AI's knowledge base concerning the course material. In terms of student performance, there is a noticeable drop from the midterm to the final exam as well. This decline could be due to various factors, such as the final exam being more challenging, or it might suggest that the students, on average, struggled to adapt to the demands of the final exam compared to the AI. Despite the differences in performance

between the two exams, all participants both the AI tool and the students ultimately fail to achieve the pass mark for the course. This outcome suggests either a rigorous standard for passing or potential gaps in both the AI's training and the students' learning that may need to be addressed.

The integration of digital assistants within educational settings has been shown to exert a significant influence on learning processes and outcomes. The utilization of personal digital assistants (PDAs) and similar digital tools in the healthcare sector, analogous to the context of this study, illustrates their capacity to improve information accessibility, optimize workflow, and facilitate evidence-based practices (Lu et al., 2005). This comparison highlights the utility of digital assistants in providing access to course materials, streamlining the management of learning activities, and supporting evidence-based pedagogical approaches within construction management education. Additionally, the efficacy of digital technologies in language acquisition, as demonstrated by Zhang and Zou (2020) (Zhang and Zou, 2022), further emphasizes the transformative potential of these tools in enhancing educational outcomes. The results suggest that the AI tool is capable of achieving performance levels comparable to those of human students, as demonstrated by the scores obtained in both the midterm and final examinations. This finding is consistent with studies indicating that AI can effectively enhance learning and assessment processes in higher education (Deeley, 2018; Chen et al., 2020; Hooda et al., 2022). The performance fluctuation between the midterm and final exams, i.e., ChatGPT4's decrease in the final exam score, raises questions about the adaptability of AI in dynamic testing environments, and points to the limitations of AI in handling complex or nuanced academic content (Yeadon and Hardy, 2024). The decline in students' performance on the final exam may reflect the increased difficulty of the exam or the influence of external factors, such as test anxiety (Elliot and McGregor, 1999). The comparative analysis further highlights the variability in human test performance, which can be affected by a range of factors, including motivation, study habits, and prior knowledge (Credé and Kuncel, 2008). Methodological limitations of the study may have influenced the results, particularly due to the unclear alignment between the AI tools' training data and the course material, which is essential for the AI's effectiveness in such assessments (Gardner et al., 2021). Moreover, the pass/fail criterion set at a 60% threshold may not adequately reflect the proficiency of AI tools or students in the practical aspects of construction management.

While AI tools offer promising benefits as educational instruments, their overall impact on the educational landscape remains uncertain and requires further investigation (Qadir, 2023). The use of ChatGPT-4 in education brings both promising opportunities and important ethical considerations. Educationally, ChatGPT-4 can serve as a valuable tool for supplementing learning, providing students with instant feedback, additional resources, and explanations that may enhance comprehension and engagement. It can help students explore complex topics more independently, support personalized learning experiences, and even serve as a study aid for self-assessment and revision. However, the ethical implications are significant. Relying too heavily on AI tools like ChatGPT-4 could discourage critical thinking, leading students to depend on the AI for answers rather than developing problem-

solving skills themselves. Furthermore, there are concerns about academic integrity, as students may use AI to complete assignments or assessments dishonestly, undermining the learning process. Responsible integration of ChatGPT-4 in education requires careful oversight, clear guidelines, and fostering an ethical mindset to ensure that it enhances learning while preserving the integrity of educational standards. It is crucial to assess the advantages and disadvantages of emerging technologies like ChatGPT to effectively navigate and shape the future of education. A significant concern is the potential for students to misuse AI tools for dishonest practices, particularly in online assessments, given AI's ability to generate customized and credible responses (de Winter, 2023). With the increasing prevalence of online education, ensuring the integrity and reliability of online assessments becomes a critical challenge. It is essential to recognize the need for further research to develop strategies that minimize these risks while maximizing the educational benefits of AI (Talan et al., 2023). Moreover, the current body of research on the educational applications of AI tools is limited, highlighting a gap in the literature. Therefore, further exploration of this AI tool's capabilities is anticipated to enhance the existing educational research landscape.

4. Conclusion

This study evaluates the effectiveness of ChatGPT-4 in enhancing learning outcomes within construction management education, specifically by comparing its performance to that of students in academic assessments. The findings demonstrate that while ChatGPT-4 shows potential in improving student performance within construction management education, it encounters significant challenges in adapting to varied academic assessments, particularly underperforming in more complex exam contexts. These findings underscore the need for refining AI tools to better align with specific educational content and assessment demands. Limitations of this study include the focus on a single course within one institutional setting, which may restrict the generalizability of the results. Despite these limitations, the study contributes valuable empirical insights into the integration of AI in education, highlighting its potential to complement traditional pedagogical approaches rather than replace them. Practical contributions include a proposed framework for the thoughtful incorporation of AI tools into curricula, suggesting that AI should be used selectively to enhance learning outcomes while preserving the essential role of human-led instruction. Future research should explore the broader and long-term implications of AI in education across diverse contexts, with a focus on enhancing AI adaptability and ensuring ethical use. Additionally, policy considerations are necessary to address academic integrity and prevent misuse of AI in educational assessments.

Declaration of interests

The author declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

The Contribution Statement Summary of the Researchers

The author has contributed 100% to the article.

References

- Abdel-Kader MY., Ebid AM., Onyelowe KC., Mahdi IM., Abdel-Rasheed I. (AI) in Infrastructure Projects-Gap Study. *Infrastructures* 2022; 7(10): 137.
- Ai X. The construction of an online education platform under the background of big data and intelligent data interaction: the realization of interaction based on C#. In *2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS) 2022*; 545–548. IEEE.
- Aliu J., Aigbavboa C. Reviewing the trends of construction education research in the last decade: a bibliometric analysis. *International Journal of Construction Management* 2023; 23(9): 1571–1580.
- Aluga M. Application of CHATGPT in civil engineering. *East African Journal of Engineering* 2023; 6(1): 104–112.
- Burgoon JM., Roebuck A., Elliott JW. Evidence of opportunity gaps in construction education: a longitudinal analysis of student success. *International Journal of Construction Education and Research* 2024; 20(1): 83–97.
- Cao Y., Li S. Liu Y., Yan Z., Dai Y., Yu PS., Sun L. A comprehensive survey of AI-generated content (AIGC): A history of generative AI from GAN to ChatGPT 2023.
- Chen L., Chen P., Lin Z. Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access* 2020; 8: 75264–75278.
- Credé M., Kuncel NR. Study habits, skills, and attitudes: The third pillar supporting collegiate academic performance. *Perspectives on Psychological Science* 2008; 3(6): 425–453.
- de Winter JCF. Can ChatGPT pass high school exams on English language comprehension? *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 2023; 1–16.
- Deeley SJ. Using technology to facilitate effective assessment for learning and feedback in higher education. *Assessment and Evaluation in Higher Education* 2018; 43(3).
- Dong J., Xie J., Su H., Fu G. Research on the construction of makerspaces in the colleges and Universities of Guangdong Province from the Perspective of Industry-Education Collaboration Atlantis Press 2022; 81–86.
- Elliot AJ., McGregor HA. Test anxiety and the hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. *Journal of Personality and Social Psychology* 1999; 76(4): 628–644.
- Gardner J., O’Leary M., Yuan L. Artificial intelligence in educational assessment: ‘Breakthrough? Or buncombe and ballyhoo?’ *Journal of Computer Assisted Learning* 2021; 37(5): 1207–1216.
- Hooda M., Rana C., Dahiya O., Rizwan A., Hossain MS. Artificial intelligence for assessment and feedback to enhance student success in higher education. *Mathematical Problems in Engineering* 2022.

- Hu X., Tan A., Gao Y. The Construction of the development mode of school-enterprise cooperation in higher vocational education with the aid of sensitive neural network. *Wireless Communications and Mobile Computing* 2023.
- Lu YC., Xiao Y., Sears A., Jacko JA. A review and a framework of handheld computer adoption in healthcare. *International Journal of Medical Informatics* 2005; 74(5): 409–422.
- Mondal H., Mondal S., Podder I. Using ChatGPT for writing articles for patients' education for dermatological diseases: A pilot study. *Indian Dermatology Online Journal* 2023; 14(4): 482.
- O'Neill T., Hartigan K., Spillane JP. Factors inhibiting higher education institutions from addressing industry driven change in irish Construction Management Programs. *International Journal of Construction Education and Research* 2024; 20(1): 65–82.
- Qadir J. Engineering education in the era of ChatGPT: Promise and pitfalls of generative AI for education. In *2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) 2023*; 1–9. IEEE.
- Rahaman MdS., Ahsan MMT., Anjum N., Terano HJR., Rahman MdM. From ChatGPT-3 to GPT-4: A Significant Advancement in AI-Driven NLP Tools. *Journal of Engineering and Emerging Technologies* 2023; 2(1): 1–11.
- Saba TS., Sundus S. Revolutionizing healthcare with AI: The role of ChatGPT. *Journal of University Medical and Dental College* 2023; 14(2).
- Sacks R., Pikas E. Building information modeling education for construction engineering and management. I: Industry requirements, state of the art, and gap analysis. *Journal of Construction Engineering and Management* 2013; 139(11): 04013016.
- Talan T., Kalinkara Y., Bilgileri M. Yükseköğretimde yapay zekânın rolü: Anatomi dersi için ChatGPT değerlendirmesi The Role of Artificial Intelligence in Higher Education: ChatGPT Assessment for Anatomy Course. *International Journal of Management Information Systems and Computer Science* 2023; 7(1): 33–40.
- Vahedifard F., Haghighi AS., Dave T., Tolouei M., Zare FH. Practical use of ChatGPT in psychiatry for treatment plan and psychoeducation 2023.
- Xu L., Sanders L., Li K., LChow JC. in press. Chatbot for health care and oncology applications using artificial intelligence and machine learning: Systematic Review. *JMIR Cancer* 2021; 7(4).
- Yeadon W., Hardy T. The impact of AI in physics education: A comprehensive review from GCSE to university levels. *Physics Education* 2024; 59(2): 025010.
- Zhang J., Xie H., Li H. Improvement of students problem-solving skills through project execution planning in civil engineering and construction management education. *Engineering, Construction and Architectural Management* 2019; 26(7).
- Zhang R., Zou D. Types, purposes, and effectiveness of state-of-the-art technologies for second and foreign language learning. *Computer Assisted Language Learning* 2022; 35(4): 696–742.

Ankara İlinde Kedi Sahiplerinin Sosyo-Demografik Yapılarının Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma

Ali KAYGISIZ^{1*}, Şeyma GÖBÜTOĞLU²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

²Keçiören Belediyesi Çevre Koruma Kontrol Müdürlüğü Veterinerlik Hizmetleri, 06100, Ankara

¹<https://orcid.org/0000-0002-5302-2735>

²<https://orcid.org/0009-0007-8272-051X>

*Sorumlu yazar: alikaygisiz@ksu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.09.2024

Kabul tarihi: 04.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Kedi

Sosyo-demografik yapı

Hayvan refahı

ÖZ

Bu çalışma, Ankara ilindeki kedi sahiplerinin sosyo-demografik yapısını belirlemeyi amaçlamaktadır. Mart-Mayıs 2024 tarihleri arasında 1000 kedi sahibi ile yüz yüze yapılan anket verileri kullanılmıştır. Katılımcıların yaş gruplarına göre dağılımı: %43,8'i 18-25, %42,8'i 26-40, %11,7'si 41-55 ve %1,7'si 56 yaş ve üzerindedir. Kedi sahiplerinin %92,9'u 1-5 yıl, %6,2'si 6-10 yıl, %0,9'u 11-20 yıldan beri kedi beslemektedir. Kedi yetiştiricilerinin eğitim durumlarına göre dağılımı: %9,8'i ilköğretim, %53,4'ü ortaöğretim, %36,8'i üniversite mezunudur. Meslek gruplarına göre dağılım ise; %6,6'sı emekli, %21,2'si öğrenci, %23,9'u memur ve %48,3'ü serbest meslek sahibidir. Kedi ırklarının dağılımı: %51,6 Tekir, %13,0 British, %10,2 Scottish, %4,0 Van kedisi ve %21,2 diğer ırklardır. Kedilerin %62,8'inin çip ve pasaportu vardır. Kedilerin elde edildiği kaynaklar: %45,9 arkadaş, %19,8 sokak, %15,0 internet, %13,8 barınak ve %5,5 evcil hayvan dükkânı şeklindedir. Kedilerin %87,6'sı evde, %12,4'ü hem evde hem bahçede tutulmaktadır. "Neden kedi besliyorsunuz?" sorusuna verilen yanıtlar: %92,5 "arkadaşlık", %3,9 "hobi" ve %3,6 "üretim" şeklindedir. Katılımcıların %55,0'i pandemi sonrası kedi sahiplenmiştir. Kedilerle günlük geçirilen süre: %0,5 bir saatten az, %11,5 üç saat ve %88,0 üç saatten fazla şeklindedir. Eğitim ve farkındalık kampanyaları, sosyal ağların güçlendirilmesi ve veteriner hizmetlerine erişimin kolaylaştırılması, kedilerin sağlıklı ve mutlu bir yaşam sürmelerine katkı sağlayacaktır.

Determination of Socio-Demographic Structure of Cat Breeders in Ankara Province

Research Article

Article History:

Received: 03.09.2024

Accepted: 04.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Cat

Socio-demographic structure

Animal welfare

ABSTRACT

This study aims to determine the socio-demographic structure of cat owners in Ankara province. Data from a face-to-face survey conducted with 1000 cat owners between March and May 2024 were used. Distribution of participants according to age groups: 43.8% were between 18-25, 42.8% between 26-40, 11.7% between 41-55 and 1.7% between ≥ 56 . 92.9% of cat owners have been keeping cats for 1-5 years, 6.2% for 6-10 years and 0.9% for 11-20 years. Distribution according to education level: 9.8% were primary school graduates, 53.4% secondary school graduates, 36.8% university graduates. Distribution according to occupational groups: 6.6% were retired, 21.2% were students, 23.9% were civil servants and 48.3% were self-employed. Distribution of cat breeds: 51.6% Tekir, 13.0% British, 10.2% Scottish, 4.0% Van cat and 21.2% other breeds. 62.8% of cats have a chip and passport. Sources from which the cats were obtained: 45.9% friends, 19.8% street,

15.0% internet, 13.8% shelter and 5.5% pet shop. 87.6% of cats are kept at home and 12.4% are kept both at home and in the garden. The answers to the question “Why do you keep cats?” were: 92.5% friendship, 3.9% hobby, and 3.6% production. 55.0% of respondents adopted a cat after the pandemic. Time spent with cats per day: 0.5% less than one hour, 11.5% three hours and 88.0% more than three hours. Education and awareness campaigns, strengthening social networks and facilitating access to veterinary services will contribute to cats living a healthy and happy life.

To Cite: Kaygısız A., Göbütoğlu Ş. Ankara İlinde Kedi Sahiplerinin Sosyo-Demografik Yapılarının Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 610-631.

1. Giriş

Genellikle evcil hayvan olarak da adlandırılan, evlerde veya insanların yakın çevresinde yaşayan ve sahipleri tarafından bakımı üstlenilen hayvanlar pet hayvanı olarak adlandırılmaktadır. Bu hayvanlar, sahiplerine duygusal destek, arkadaşlık ve bazen de fiziksel faydalar sağlar. Kedi ve köpekler en yaygın pet hayvanlar olmakla beraber, kuşlar, balıklar, küçük memeliler ve hatta bazı sürüngenler de pet olarak beslenmektedir (Demir ve Uğurlu Koç, 2014; Sarial Kubilay ve Bozkurt, 2020).

Arkeolojik ve genetik araştırmalar, köpeklerin yaklaşık 15.000 ile 40.000 yıl önce ilk evcilleştirilen hayvan olduğunu göstermektedir (Bıyıkoğlu, 2009; Külcü, 2019). Kedilerin evcilleştirilmesi süreci ise, yaklaşık 9.000 yıl öncesine dayanmaktadır (Menteş Gürler ve Osmanağaoğlu, 2009).

Türkiye’de sokak hayvanları genellikle; kedi ve köpeklerden oluşmakta olup 2024 yılı itibariyle yaklaşık 8 milyon sokak hayvanının bulunduğu ve bunun %75’inin kedi, %25’inin ise köpek olduğu bildirilmiştir (Anonim, 2024a ve 2024b). Özellikle sahiplenilmeyen, sahibi tarafından terk edilen kedi ve köpekler sorunların başlıca nedenleridir (Anonymous, 1996). Kontrolsüz üreme sonucu çoğalan köpek ve kedi yavrularının sokaklarda ve vahşi doğada dolaşan köpek ve kedi problemine katkıda bulunduğu, doğal yaşam alanları (Akinwehinmi ve ark., 2023), insanlar, çiftlikler, kamusal düzen ve epidemiyolojik güvenlik için tehdit oluşturduğu (Perdomo ve ark., 2021; Hanusz ve ark., 2022) bildirilmiştir. Nitekim 2018 ile 2023 yılları arasında sokak köpekleri sebebiyle 3 bin 476 trafik kazası meydana gelmiş, bu kazalarda 67 kişi hayatını kaybetmiş ve 5 bin 200’den fazla kişi de sokak köpekleri nedeniyle gerçekleşen kazalarda yaralanmıştır (Anonim, 2024c). Terkedilmiş ve serbest dolaşan kediler ise, *Toxoplasma gondii* bulaştırarak halk sağlığını tehdit ederken (Dabritz ve Conrad, 2010) çevre, kedi refahı ve zoonoz hastalıkların rezervuarı olarak da risk oluşturur (Levy ve Crawford, 2004). Bu durum ise hayvan refahı ve halk sağlığı açısından önemli sorunlara yol açmaktadır (Perdomo ve ark., 2021). Bu nedenle, terkedilmiş ve serbest dolaşan kedilerin insanlar tarafından sahiplenilmesi, halk sağlığı risklerini azaltmasının yanı sıra hayvan refahını ve çevreyi koruma konusunda önemli katkılar sağlayacaktır.

Tüm bu bilgilere ek olarak, köpeklere kıyasla daha bağımsız hayvanlar olan kedi yetiştiriciliğinin köpek yetiştirmeye göre daha az bakım gerektirmesi, sakinleştirici etkileriyle sahiplerinin yaşam kalitesini artırması (González-Ramírez ve Landero-Hernández, 2021; Lucena ve ark., 2023) bazı avantaj ve üstünlükleri bulunmaktadır. Bütün bu avantajlarının yanı sıra, kedilerin sahiplerinin duygusal iyilik hallerini artırdığı da bildirilmiştir (Fahemeeda ve ark., 2023). Kediler, genellikle kendi

temizliklerini yaptıkları için günlük bakımları için daha az zamana ihtiyaç vardır, daha küçük yaşama alanlarına ihtiyaç duyar, apartman yaşamına daha kolay uyum sağlarlar. Bu durum, apartmanda yaşayan veya yeterli bahçe alanına sahip olmayan kişiler için bile kedilerin daha uygun bir pet hayvan olmasını sağlar. Bunlara ilaveten daha az yıkama ve tımar gerektirmesi, veteriner hekim masraflarının genellikle daha düşük olması nedeniyle ekonomik açıdan da kedilerin bakım maliyetleri genellikle daha düşüktür. Kediler, stresli ve yoğun iş temposu olan sahipleri için duygusal destek sağlayan ideal pet hayvanlardır.

Bu çalışmada, Ankara ilinde kedi sahiplerinin sosyo-demografik yapılarının, yaş, eğitim seviyesi ve sahiplenme motivasyonlarına göre farklılık gösterip göstermediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Zira, günümüz kent yaşamında pet hayvan sahipliği, sadece bir hobi ya da geleneksel bir sorumluluk olmanın ötesine geçmiş, birçok insan için sosyal ve duygusal bir ihtiyaç haline gelmiştir. Ankara'da yaşayan kedi sahiplerinin sosyo-demografik yapısını inceleyen bu çalışma, kedi sahiplenme motivasyonlarının ve kedi bakımı ile ilgili tercihlerin toplumsal yapıyla nasıl örtüştüğünü gözler önüne sermeyi amaçlamaktadır. Çalışmada ayrıca kedi sahiplenme alışkanlıkları, kedi refahı ve veteriner hekim hizmetlerine erişim gibi konularda elde edilen bulgular hem hayvan refahı çalışmalarına hem de veteriner hekim hizmetlerinin iyileştirilmesine yönelik politikaların geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma materyalini Ankara ilindeki kedi sahipleri ile yüz yüze yapılan anket çalışmasından elde edilen veriler oluşturmuştur. Anket çalışması 2024 yılı Mart-Mayıs ayları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Anket çalışması sonucunda elde edilen verilerin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmıştır. Bulgular yüzdeler olarak verilmiştir.

Örnek Büyüklüğünün Tespiti

2024 yılı itibarıyla Ev Hayvanı Kayıt Sistemi'nde (PETVET) kayıtlı kedi sayısı 168,260'tır (Anonim, 2024d). Araştırmada kullanılan anket sayısının tespitinde; Basit Tesadüfi Örnekleme içerisinde yer alan aşağıdaki örnekleme formülü kullanılmıştır (Akbulut ve Yıldız, 2001).

$$n = \frac{N * t^2 * p * q}{(N - 1) * D^2 + t^2 * p * q} \quad (1)$$

$$n = \frac{168.260 * (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{(168.260 - 1) * (0.05)^2 + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5} = 653$$

Bu formülde yer alan terimlerden; n: Örnek büyüklüğünü, N: İşletme sayısını, D: Kabul edilen veya arzu edilen örnekleme hatasını, t: Tablo değerini, p: Hesaplanması istenen oranı, q =1-p'yi temsil etmektedir.

Kullanılan formülden elde edilen minimum 653 sayısının %50 fazlası alınmış, örnekleme hatasını en aza indirmek ve daha güçlü sonuçlar elde edebilmek amacıyla 1000 adet kedi sahibi çalışmaya dâhil edilmiştir.

Çalışmanın yürütülmesi için KSÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulundan izin alınmıştır (07.06.2024 tarih, 2024/16 nolu sayı)

3. Bulgular ve Tartışma

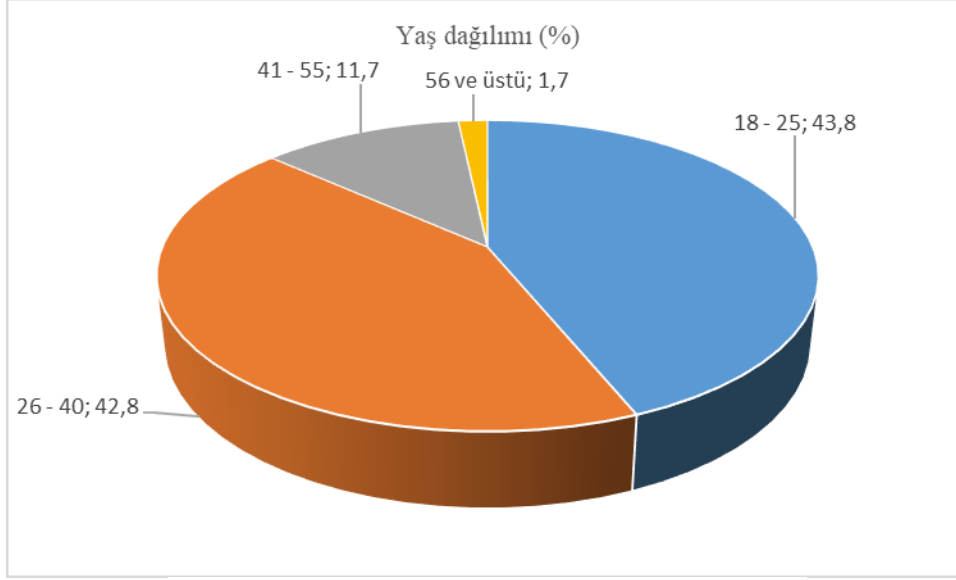
Ankara ilindeki kedi sahiplerinin sosyo-demografik özelliklerinin dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ankara ilinde kedi sahiplerinin sosyo-demografik özellikleri

Yaş dağılımı	18-25	26-40	41-55	≥56
%	43,8	42,8	11,7	1,7
Mesleki dağılım	Serbest meslek	Memur	Öğrenci	Emekli
%	48,3	23,4	20,7	6,6
Eğitim durumu	İlköğretim	Ortaöğretim	Üniversite	
%	9,8	53,4	36,8	

Yaş Dağılımı

Ankete katılanların yaş aralığına göre dağılımları 18-25 yaş grubu %43,8, 26-40 yaş grubu %42,8, 41-55 yaş grubu %11,7 ve 56 ve üzeri yaş grubu %1,7 şeklinde, yaş ortalaması ise $29,3 \pm 1,82$ yıl olarak hesaplanmıştır (Şekil 1). Bu analiz sonucuna göre, verilerin %86,6’sının 18-25 ve 26-40 yaş gruplarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bunun dışındaki diğer yaş gruplarının düşük oranlara sahip olması genç ve orta yaş gruplarının pet hayvan sahiplenmeye ve yetiştirmeye daha eğilimli olduklarını göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda yetiştiricilerin yaş ortalaması, Ankara ilinde $36,2 \pm 1,82$ yıl (Demir ve Uğurlu Koç, 2014), Antalya (Alanya ilçesi) ve Mardin ilinde 34,26 yıl (Erten ve ark., 2019), Sivas ilinde 32,25 yıl (Oğrak ve ark., 2014), Balıkesir ilinde (Bandırma ilçesi) 27,7 yıl (Alarslan ve ark., 2022) olarak bildirilmiştir. Genel olarak, bu veriler kedi yetiştiricilerinin genç yaşlarda yoğunlaştığını ve kedi yetiştiriciliğinin genellikle hobi olarak yapıldığını düşündürmektedir. Bu bulgular, genç yetiştiricilere yönelik yapılan bilgilendirme ve destek çalışmalarının önemini vurgulamaktadır. Zira, genç kedi yetiştiricilerinin bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi, kedi sağlığı ve refahı açısından faydalı olabilir.



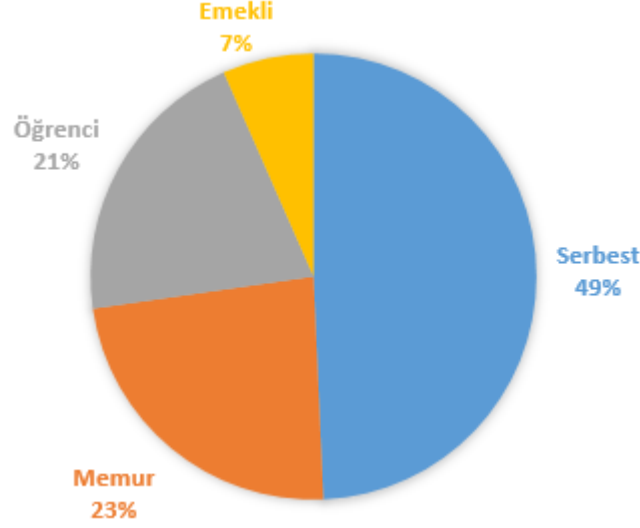
Şekil 1. Kedi sahiplerinin yaş durumuna göre dağılımı

Mesleki Dağılım

Bu çalışmada, kedi sahiplerinin meslek gruplarına göre dağılımları; serbest meslek %48,3, memur %23,9, öğrenci %21,2 ve emekli %6,6 şeklinde olmuştur (Şekil 2). Erten ve ark. (2019, 2022) tarafından yapılan çalışmalarda, pet hayvan sahiplerinin Mardin'de %39,1, Elazığ'da %26,9 ve Alanya'da %25,5 oranında memur olduğu tespit edilmiştir. Bu oranlar, mevcut çalışmada memurların %23,9'luk oranına göre daha yüksek bulunmuştur. Alarşlan ve ark. (2022) tarafından Balıkesir'de yapılan çalışmada, pet hayvan yetiştiricilerinin %34,8'inin öğrenci, %18,8'inin özel sektör çalışanı ve %16,5'inin emekli, Erten ve ark. (2022) tarafından Elazığ'da yapılan çalışmada ise kedi sahiplerinin %32,3 oranında öğrenci olduğu bildirilmiştir. Mevcut çalışmada öğrencilerin %21,27 oranında yer alması, Balıkesir'deki %34,8 oranından daha düşük (Alarşlan ve ark., 2022), ancak hala önemli bir paya sahiptir. Emeklilerin %6,6 oranında düşük bir temsil oranına sahip olması ise, Balıkesir'deki %16,5 oranından daha düşüktür (Alarşlan ve ark., 2022). Demir ve Uğurlu Koç (2014) tarafından Ankara'da yapılan çalışmada ise, kedi sahiplerinin %50'sinin kamu veya özel sektörde çalışan, %21,4'ünün emekli, %23,2'sinin öğrenci ve %5,4'ünün ev hanımı olduğu belirlenmiştir. Mevcut çalışmada serbest meslek sahiplerinin %48,3 gibi yüksek bir oranla temsil edilmesi, Ankara'daki %50'lik çalışan oranıyla uyumludur, ancak bu çalışmada %6,6 olarak hesaplanan emekli oranı Ankara'daki %21,4 oranına göre daha düşüktür (Demir ve Uğurlu Koç, 2014).

Bu çalışmada serbest meslek sahiplerinin %49,3 gibi yüksek bir oranla temsil edilmesi, bu grubun esnek çalışma saatlerine sahip olmaları ve dolayısıyla pet hayvan bakımı için daha fazla zaman ayırabilmeleri ile açıklanabilir. Memurların %23,4 oranında temsil edilmesi ise, düzenli çalışma saatlerine ve istikrarlı gelir düzeyine sahip olmaları nedeniyle açıklanabilir. Öğrencilerin %20,7 oranında yer alması, eğitim süreleri boyunca pet hayvan sahiplenme eğilimlerinin ve yaşam stillerinin buna elverişli olmasından kaynaklanabilir. Öğrencilerin, özellikle üniversite yıllarında, stresle başa

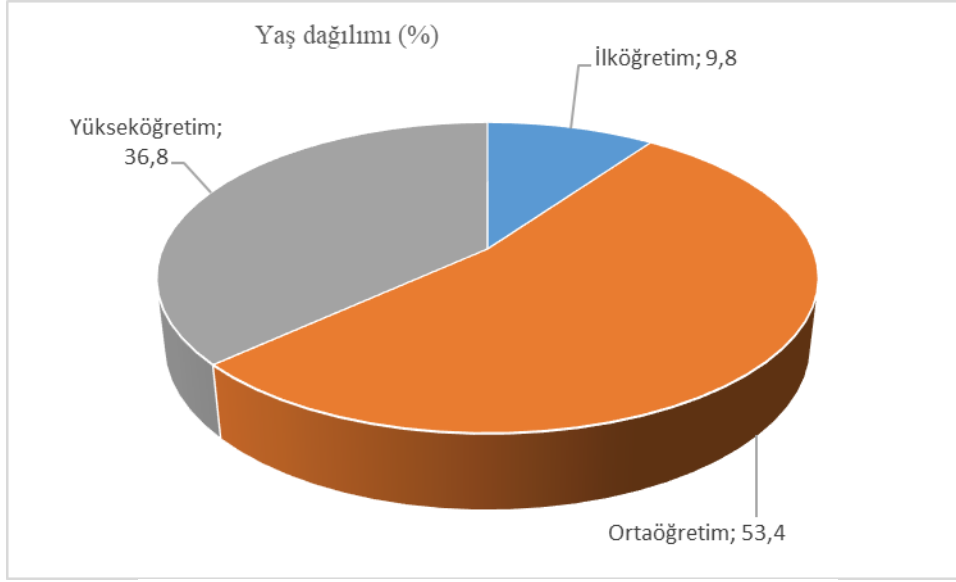
çıkma ve yalnızlığı gidermek gibi duygusal ihtiyaçlarını pet hayvanlarla giderme eğiliminde oldukları bilinmektedir. Emeklilerin %6,6 oranında düşük bir temsil oranına sahip olmaları ise, sabit gelirleri ve sağlık sorunları gibi faktörlerin pet hayvan bakımını zorlaştırması ile açıklanabilir. Ancak emeklilik sonrası boş zamanın artması ve yalnızlık duygusunun giderilmesi amacıyla pet hayvan edinme eğilimi de gözlemlenmektedir.



Şekil 2. Kedi sahiplerinin meslek dağılımları

Eğitim Durumu

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kedi sahiplerinin eğitim durumuna göre dağılımını şu şekilde göstermektedir: İlköğretim mezunu oranı %9,8, ortaöğretim mezunu oranı %53,4 ve yükseköğretim mezunu oranı %36,8 (Şekil 3). Daha önce, Erten ve ark. (2019; 2022) tarafından yapılan çalışmada, pet hayvan sahiplerinin Alanya'da %51,9, Mardin'de %41,3 ve Elazığ'da %50,5 oranında lisans (üniversite) mezunu olduğu tespit edilmiştir. Bu oranlar, mevcut çalışmada yükseköğretim mezunu yetiştirici oranı olan %36,8'in üzerindedir. Alarşlan ve ark. (2022) tarafından Balıkesir'de yapılan çalışmada ise, pet hayvan yetiştiricilerinin %36,1'inin ortaöğretim, %34,5'inin önlisans ve %21,4'ünün ise lisans mezunu olduğu belirlenmiştir. Mevcut çalışmadaki %53,4'lük ortaöğretim oranı, Balıkesir'deki ortaöğretim ve önlisans oranlarının toplamına yakındır, ancak yükseköğretim mezunu kedi sahiplerinin oranı Balıkesir'deki lisans mezunu oranından daha yüksektir. Oğrak ve ark. (2014) tarafından Sivas'ta yapılan çalışmada, pet hayvan yetiştiricilerinin %51'inin üniversite mezunu olduğu belirlenmiştir. Demir ve Uğurlu Koç (2014) tarafından Ankara'da yapılan çalışmada ise, kedi yetiştiren üniversite mezunlarının oranı %60,7 olarak bulunmuştur. Bu oranlar, mevcut çalışmadaki %36,8'lik yükseköğretim mezunu oranından oldukça yüksektir. Bu verilerin ışığında, kedi yetiştiricilerinin eğitim düzeyinin bölgesel farklılıklar gösterdiği söylenebilir.



Şekil 3. Kedi sahiplerinin eğitim durumlarına göre dağılımı

Son yıllarda bireylerin yaşam koşullarının zorlaşması, insanlar arasındaki ikili ilişkilerin zayıflamasına ve zaman bulamama gibi sorunların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, insanlar pet hayvan edinerek yalnızlıklarını gidermeye çalışmaktadır. Kedi sahiplerinin eğitim düzeyinin yüksek olması, kedilerinin ihtiyaçlarını daha iyi karşılamalarına ve sağlıklarına yönelik daha bilinçli olmalarına katkıda bulunabilir. Zira, genel olarak, kedi sahibinin eğitim düzeyinin kedilerine yönelik bilgi düzeylerini ve bakım kalitesini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Adamelli ve ark., 2005). Yüksek eğitim düzeyi, kedilerin ihtiyaçlarına yönelik bilinçli yaklaşımlar geliştirilmesine ve sağlık hizmetlerinden daha fazla yararlanılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu durum, kedilerin genel sağlık ve refah düzeylerinin iyileştirilmesine de yardımcı olmaktadır.

Kedi Sahiplik Bilgileri

Kedi sahipliğine ilişkin bilgiler Tablo 2’de bir araya getirilmiştir.

Tablo 2. Ankara ilinde kedi sahipliği bilgileri

Kedi sahiplenme yeri %	Arkadaş 45,9	Sokaktan 19,8	İnternet 15,0	Barınak 13,8	Pet mağaza 5,5
Irkların dağılımı %	Tekir 51,6	British 13,0	Scottish 10,2	Van kedisi 4,0	
Sahiplik süresi %	1-5 92,9	6-10 6,2	11-20 0,9		
Yetiştiricilik nedeni %	Arkadaşlık 92,5	Hobi 3,9	Yetiştirme-Üretim 3,6		
Yetiştiriciliğe başlama zamanı %	Pandemi sonrası 55,0	Pandemi öncesi 45,0			
Çip ve pasaport kullanımı %	Evet 62,8	Hayır 37,2			

Kedi Sahiplenme Yeri

Hayvanları nereden temin ettiniz sorusuna verilen cevaplar; %45,9 arkadaş, %19,8 sokaktan, %15,0 internetten, %13,8 barınaktan, %5,5 pet mağazadan şeklinde olmuştur (Tablo 2). Yapılan çalışmanın sonuçları, kedi sahiplerinin hayvanlarını temin ettikleri kaynaklar hakkında çeşitli bilgiler sunmaktadır. Alanya’da %29,2’lik oranla pet-shop ve sokaktan temin ilk sırada yer alırken, Mardin’de ise %37,7’lik oranla arkadaştan temin etme ön plana çıkmaktadır (Erten ve ark., 2019). Bandırma ilçesinde kedilerin %4,9’unun barınaktan, %43,6’sının ise sokaktan sahiplenildiği (Alarslan ve ark.2022), Elâzığ ilinde ise kedilerin %19,4’ünün arkadaştan, %33,3’ünün sokaklardan, %17,2’sinin internetten, %14’ünün barınaklardan ve %8,3’ünün pet-shoplardan temin edildiği bildirilmiştir (Erten ve ark., 2022).

Öncelikle, %45,9 oranında arkadaşlardan kedi sahiplenmenin en yaygın yöntem olduğu görülmektedir. İnsanlar, tanıdıkları ve güvendikleri kişilerden hayvan sahiplenmeyi tercih edebilmektedirler. Bu durum, arkadaş çevresinin güvenilir bir kaynak olarak görülmesi ve sahiplenme sürecinin daha kolay ve güvenilir bir şekilde gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Sokaktan kedi sahiplenme oranının %19,8 olması, sokak kedilerinin sahiplenme isteğini azımsanmayacak bir düzeyde olduğunu göstermektedir. Sokakta yaşayan kediler, genellikle sahipsiz ve bakıma muhtaç oldukları için hayvanseverler tarafından sahiplenilmektedirler. Sokak kedilerinin sahiplendirilmesi, hem sokak hayvanlarının yaşam koşullarını iyileştirme hem de sahiplenecek kişilere daha ekonomik bir çözüm sunma açısından önemlidir.

İnternet üzerinden kedi sahiplenme oranının %15,0 olması, dijital platformların bu alandaki etkisini ortaya koymaktadır. Çeşitli internet siteleri ve sosyal medya platformları üzerinden kedi sahiplenme ilanlarının yaygınlaşması, bu yöntemi popüler hale getirmiştir. İnternet, daha geniş bir kitleye ulaşma ve daha fazla kedi sahiplenme fırsatı sunma açısından avantaj sağlamaktadır.

Barınaklardan kedi sahiplenme oranı %13,8 ile diğer yöntemlere göre daha düşük olmasına rağmen, barınakların da yine de önemli bir sahiplenme kaynağı olduğu görülmektedir. Barınaklar, sahipsiz ve terk edilmiş hayvanlara yeni yuvalar bulma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Barınaklardan sahiplenme, aynı zamanda hayvanların sağlık kontrollerinin yapılmış olması ve aşılarının tamamlanmış olması nedeniyle güvenli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Son olarak, pet mağazalardan kedi sahiplenme oranının %5,5 olması, diğer yöntemlere kıyasla daha az tercih edildiğini göstermektedir. Bu durum, pet mağazalarındaki hayvanların genellikle yüksek fiyatlara sahip olması ve 2012 yılından bu yana pet shoplardan hayvan satışının yasaklanmış olmasından kaynaklanmıştır.

Genel olarak, kedi sahiplenme yöntemlerinin çeşitliliği ve bu yöntemlerin tercih edilme sebepleri, toplumun kedi sahiplenme alışkanlıkları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Sosyal ağlar ve internet platformları, sahiplenme süreçlerinde önemli rol oynamakta ve sokak hayvanlarının sahiplenilmesi, hayvan refahı açısından büyük önem taşımaktadır.

Kedi Sahiplerinin Tercih Ettiği Irk Dağılımı

Kedi ırklarının dağılımı Tekir %51,6, British %13,0, Scottish %10,2, Van kedisi %4,0 ve diğer ırklar %21,2 şeklindedir (Tablo 2). Tekir kedilerin en yüksek oranı (%51,6) oluşturması, bu ırkın genetik çeşitlilikleri ve dayanıklı olmaları ile açıklanabilir. Tekir kediler hem kentsel hem de kırsal alanlarda yaygın olarak bulunur ve melez bir ırk olmaları nedeniyle hastalıklara karşı daha dirençlidirler (Anonim, 2024e). Ayrıca, bakım maliyetlerinin düşük olması ve kolay bulunabilmeleri, bu kedilerin tanınırlığını artırmaktadır. Sakin ve uyumlu doğaları ile bilinen British kedileri (Anonim, 2023) en popüler ikinci ırk (%13,0) olmuştur. Bu ırk, ayrıca apartman yaşamına uygunluğu ve çocuklarla iyi geçinmesiyle tercih edilmektedir. British kedilerinin görsel çekiciliği ve mizacı da sahiplenme oranlarını etkileyen bir diğer faktördür. Scottish kediler, karakteristik kıvrık kulakları ve sevimli görünüşleriyle bilinirler (Istrate ve ark., 2020). Bu ırk, sosyal ve insanlarla iyi geçinen yapısıyla dikkat çekmektedir. Ancak sağlık sorunları ve genetik hastalıklar nedeniyle dikkatli yetiştirilmesi gereken bir ırktır. Buna rağmen, görsel ve karakteristik özellikleri bu ırkın tanınırlığını artırmaktadır. Van kedisinin düşük oranı (%4,0), bu ırkın nispeten nadir ve bölgesel olmasından kaynaklanmaktadır. Türkiye'nin Van bölgesine özgü olan bu ırk, beyaz kürkü ve farklı renkteki gözleriyle tanınır (Ilhan ve ark., 2016). Van kedisi, Türk mirasının ayrılmaz bir parçası olup bu ırkın korunmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir (Yılmaz ve ark., 2016). Koruma altındaki bir ırk olması sebebiyle de yetiştirilmesi belirli bir bölgede ve sınırlı sayıda yapılmaktadır. Ayrıca, bu kedilerin yüksek bakım ihtiyaçları da tanınırlığını sınırlayan etkenlerdendir. Genel olarak, kedi ırklarının dağılımı, hem pratik faktörler (sağlık, bakım kolaylığı) hem de estetik ve kişisel tercihleri yansıtmaktadır. Bu dağılım, kedi sahiplenme eğilimlerinin çeşitliliğini ve insanların pet hayvan seçiminde farklı kriterlere önem verdiğini göstermektedir.

Yetiştirme Süresi

Kedi sahipleriyle yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, sahiplik süresinin dağılımı açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Ankete katılanların %92,9'unun 1-5 yıl arasında, %6,2'sinin 6-10 yıl ve sadece %0,9'unun 11-20 yıldan beri kedi sahiplendiği, ortalama sahiplenme süresinin $3,38 \pm 0,045$ yıl olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Kedi sahiplerinin %92,9 gibi büyük bir çoğunluğunun 1-5 yıl'dan beri kedi sahiplenmiş olması, sahiplenme süresinin genellikle kısa ve yeni bir alışkanlık olduğunu ortaya koymaktadır.

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda, ortalama kedi sahiplenme süresi Ankara ilinde $7,7 \pm 1,09$ yıl (Demir ve Uğurlu Koç, 2014), Bandırma ilçesinde ise kedi sahiplerinin %78,1'inin 1-4 yıldan beri kediye sahip olduğu (Alarслан ve ark., 2022) tespit edilmiştir. Genel olarak, bu sonuçlar kedi yetiştiriciliğinin çoğunlukla kısa süreli bir uğraş olduğunu ve hobi amaçlı yapıldığını doğrulamaktadır. Bu durum, kedi sahiplerinin uzun vadeli bakım ve sorumluluk almaları için daha fazla bilinçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kedi Sahiplenme Sebebi

Bu çalışmada “neden kedi sahiplendiniz” sorusuna verilen cevaplar %92,5 “arkadaşlık yapma”, %3,9 “hobi”, %3,6 “yetiştirme ve üretim” şeklinde olmuştur (Tablo 2).

Ankara’da yapılan çalışmada (Demir ve Uğurlu Koç, 2014), kedi sahiplenme sebepleri arasında yalnızlığı giderme %28,6, sokakta yavru iken görüp alma %32,1, hayvan sevgisi %19,6 ve diğer nedenler %19,6 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada arkadaşlık yapma doğrudan belirtilmemiş olmakla birlikte, yalnızlığı giderme ve hayvan sevgisi gibi nedenler arkadaşlık yapma ile örtüşen motivasyonlar olabilir. Ancak mevcut çalışmada arkadaşlık yapma %92,5 gibi oldukça yüksek bir oranla en belirgin sebep olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, günümüzde kedi sahiplerinin kedileri daha çok duygusal destek ve arkadaşlık amacıyla sahiplendiğini göstermektedir.

Bandırma ilçesinde yapılan çalışmada (Alarslan ve ark., 2022) hayvan sevgisi %72,6, sokakta yavru iken görüp alma %8,7, yalnızlığı giderme %7,2, çocuğum istediği için %5,4 ve diğer nedenler %6,1 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada da arkadaşlık yapma doğrudan belirtilmemiştir, ancak hayvan sevgisi gibi nedenler arkadaşlık yapma ile ilişkilendirilebilir. Bandırma’da hayvan sevgisi ana motivasyon olarak öne çıkarken, mevcut çalışmada arkadaşlık yapma çok daha baskın bir sebeptir. Bu farklılık, coğrafi ve kültürel farklılıkların yanı sıra, bireylerin kedi sahiplenme motivasyonlarındaki değişiklikleri de yansıtabilir.

Gourkow ve Fraser (2006) ile Sinn (2016) tarafından yapılan çalışmalarda kedi seçiminde öncelikle arkadaşlık ve oyunculuk özelliklerinin ana kriter olduğu bildirilmiştir. Bu, mevcut çalışmada elde edilen %92,5’lik arkadaşlık yapma oranı ile uyumludur. Her iki çalışma da kedi sahiplerinin kedileri arkadaşlık ve eğlence amacıyla sahiplendiğini göstermektedir, bu da günümüz kedi sahiplenme motivasyonlarının duygusal ve sosyal ihtiyaçlarla güçlü bir şekilde bağlantılı olduğunu doğrulamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, arkadaşlık yapmanın kedi sahiplenme motivasyonunda en belirgin sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Gourkow ve Fraser (2006) ile Sinn (2016) tarafından yapılan çalışmalar ise arkadaşlık ve oyunculuk özelliklerinin önemli olduğunu belirtmiş olup, bu da mevcut çalışmadaki bulgularla tutarlıdır. Sanderson ve ark. (2023) ise barınaktaki bir kediyi sahiplenme ve bakımını üstlenmenin yalnızlık duygusunun hafifletilmesinde ve yaşlı yetişkinlerde ruh sağlığının iyileştirilmesinde etkili bir çözüm olabileceğini bildirmişlerdir.

Bu karşılaştırmalar, kedi sahiplenme motivasyonlarının genel olarak duygusal ve sosyal ihtiyaçlarla bağlantılı olduğunu ve bu ihtiyaçların kedi sahiplenme kararlarında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Ancak bölgesel ve kültürel farklılıklar, bu motivasyonların dağılımını ve önem derecesini etkileyebilmektedir.

Kedi Sahiplenme Zamani

Ankete katılanların %55,0’i pandemi sonrası kedi sahiplenmeye başladığını ifade etmişlerdir (Tablo 2). Covid-19 salgını sırasında evde kalma uygulamalarının artması, birçok insanın pet hayvan edinme

veya mevcut pet hayvanlarına daha fazla zaman ayırma eğiliminde olmalarına neden olmuştur. Pandemi sürecinde insanların evde daha fazla zaman geçirmesi, yalnızlık hissini azaltma ihtiyacı, stresle başa çıkma yöntemi olarak pet hayvan sahipliğine olan ilgiyi artırmış olabilir. Ayrıca, pet hayvanların insanlara destek ve moral sağladığı, sosyal bağları güçlendirdiği ve fiziksel aktiviteyi teşvik ettiği de bilinmektedir. Zira, COVID-19 salgını, pet hayvan sahiplenmelerinde beklenmedik artışlara yol açmış ve hayvan barınma ve destek hizmetleri alanını yeniden şekillendirmiştir (Protopopova, 2021). Evde kalma sürecinde pet hayvan sahipleri, pet hayvanlarıyla daha fazla vakit geçirme fırsatı bulmuş ve bu durum pet hayvanlarla olan bağlarını güçlendirebilir. Ayrıca, pet hayvanlar insanlara moral ve destek sağlayabilir, bu da evde kalma sürecinde duygusal destek olarak önemli bir rol oynayabilir.

Gasteiger ve ark. (2021) tarafından yürütülen çalışmada ise, pet sahipliğinin depresyon, anksiyete ve stres düzeyleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, pet hayvan sahipliğinin mental sağlık üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, daha düşük stres ve anksiyete düzeylerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, pet sahipliğinin pandemi sürecinde insanların ruh sağlığını destekleyici bir faktör olabileceğini göstermektedir.

Küpe, Pasaport, Çip

Kedi sahipleri hayvanların %62,8'inin çip ve pasaporta sahip olduğunu bildirmişlerdir (Tablo 2). Pet pasaportu, sadece yurt dışına çıkma belgesi olmayıp, kedi, köpek ve gelincik gibi hayvanlar için bir kimliktir. Tarım ve Orman Bakanlığı ile Türk Veteriner Hekimleri Birliği arasında 1 Ocak 2021 tarihi itibarıyla imzalanan protokol ile pasaport bulundurma zorunlu kılınmıştır (Anonim, 2021). Pasaport uygulaması özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Pasaport, kedinin sağlık kayıtlarını ve aşı durumunu içerir, bu da hayvanların sağlığını koruma açısından önemlidir. Pasaport uygulaması aynı zamanda hayvanların seyahatleri sırasında hastalık yayılımını önlemeye de yardımcı olmaktadır.

Kedilerin %62,8'inde çip ve pasaport bulunması, pet hayvan sahiplerinin giderek artan bir şekilde bu zorunluluğu yerine getirmeye başladığını göstermektedir. Çip kullanımı, hayvanların kaybolması durumunda bulunmalarını kolaylaştıran ve veteriner hizmetlerinin daha etkin bir şekilde sunulmasını sağlayan önemli bir uygulamadır. (Fatjó ve ark., 2015). Genel olarak, kedilerde çip ve pasaport kullanımı, modern hayvan bakımının ve hayvan haklarının bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Bu uygulamalar, hayvan sahiplerinin sorumluluk bilincini artırmakta ve kedilerin sağlık ve güvenliklerini koruma altına almaktadır.

Kedilerin Beslenme ve Bakım Bilgileri

Kedilerin beslenme ve bakım bilgileri Tablo 3'te bir araya getirilmiştir.

Tablo 3. Kedilerin beslenme ve bakım bilgileri

Besleme şekli %	Ekonomik mama 51,3	Kaliteli mama 29,3	Konserve 12,5	Ev yemekleri 6,9
Veteriner kliniğine gitme sıklığı %	Düzenli 43,9	Gerektiğinde 39,7	Hiç gitmeyen 8,3	Nadiren gidenler 8,1
Tatile giderken kedinin bırakıldığı yer %	Yanımda 38,3	Tanıdık birine bırakma 33,2	Komşuya bırakma 17,7	Otel-Pansiyona bırakma 10,8
Günlük birlikte geçirilen süre %	< 1 saat 0,5	1-3 saat 11,5	≥ 3 saat 88,0	
Barınma yeri %	Ev içinde 87,6	Ev içinde + Bahçede 12,4		

Kedi Besleme Şekli

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre kedi sahiplerinin %51,3'ü ekonomik mama, %29,3'ü kaliteli mama, %12,5'i konserve mama ve %6,9'u ev yemekleri ile kedilerini beslemektedir (Tablo 3). Çeşitli çalışmalarda kedi sahiplerinin beslenme tercihlerine göre dağılımları Brezilya'da (Felipetto ve ark., 2022); kedi maması %41, hazır yemek %2,3, yemek artıkları %7,3, kedi maması, hazır mama ve artık yiyecekler %49,3, hazır yiyecekler ve yemek artığı %1,8; Alanya ve Mardin'de (Erten ve ark., 2019); profesyonel mama %72,7 ve %67,4, Bandırma ilçesinde (Alarslan ve ark., 2022); hazır ticari mama %73, mamayı kendisi hazırlayan %6,1, Elazığ ilinde (Erten ve ark., 2022); hazır mama ile besleme %85, kendisi hazırlayan %15 şeklindedir. Mevcut çalışmada, kedi sahiplerinin %51,3'ü ekonomik mama, %29,3'ü kaliteli mama olmak üzere toplamda %80,6 oranında hazır ticari mama kullanımı belirtilmektedir. Alanya (%72,7), Mardin (%67,4), Bandırma (%73) ve Elazığ'da (%85) yapılan çalışmalar, profesyonel mama kullanımının Türkiye'de yaygın olduğunu göstermektedir. Bu durum, Türkiye'deki kedi sahiplerinin büyük bir çoğunluğunun ticari mama kullanmayı tercih ettiğini ortaya koymaktadır.

Mevcut çalışmada konserve mama kullanımı %12,5, ev yemekleri ise %6,9 olarak bildirilmiştir. Brezilya'da yapılan çalışmada ise yemek artıkları %7,3, hazır yemek ise %2,3 oranında kullanılmıştır (Felipetto ve ark., 2022). Bu da Brezilya'da ev yemekleri ve yemek artıkları kullanımının nispeten düşük olduğunu göstermektedir. Bandırma (%6,1) ve Elazığ (%15)'da yapılan çalışmalarda, kedi sahiplerinin bir kısmının kendilerinin hazırladığı mamaları kullandığı belirtilmiştir (Alarslan ve ark., 2022; Erten ve ark., 2022). Brezilya'da kedi maması, hazır mama ve artık yiyeceklerin karışık kullanımı %49,3, hazır yiyecekler ve yemek artığı %1,8 olarak bildirilmiştir (Felipetto ve ark., 2022). Mevcut çalışmada ise, bu tür karışık besleme yöntemlerine dair spesifik bir bilgi alınmamıştır.

Bu karşılaştırmalar, kedi beslenme alışkanlıklarının bölgesel farklılıklar gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Türkiye'de kedi sahiplerinin büyük bir çoğunluğu hazır ticari mama kullanmayı tercih ederken, Brezilya'da daha çeşitli beslenme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Özellikle Türkiye'deki yüksek profesyonel mama kullanım oranları, kedi sahiplerinin kedilerinin beslenme kalitesine önem verdiğini göstermektedir. Ancak ekonomik mama kullanımının %51,3 gibi yüksek bir oranda olması, bazı kedi sahiplerinin maliyet faktörlerini göz önünde bulundurarak daha uygun fiyatlı seçeneklere yöneldiğini de ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, kedi beslenme alışkanlıkları ve tercihlerinin incelenmesi, kedilerin genel sağlık ve refah düzeylerini artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu tür çalışmalar, kedi sahiplerinin kedileri için en iyi beslenme seçeneklerini belirlemelerine yardımcı olabilir ve kedilerin uzun ve sağlıklı bir yaşam sürmelerine katkıda bulunabilir.

Veteriner Kliniğine Götürülme Sıklığı

Veteriner kliniğine gitme sıklığına verilen cevaplar şu şekildedir: Düzenli veteriner kliniğine gidenler %43,9, gerektiğçe gidenler %39,7, hiç gitmeyenler %8,3, nadiren gidenler %8,1'dir (Tablo 3). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kedilerin veteriner hizmetlerinden yararlanma sıklığı konusunda ilginç bir tablo sunmaktadır. Bu çalışmada düzenli veteriner ziyaret oranı oldukça yüksek (%43,9) olup, Brezilya'daki oranın (%20) iki katından fazladır (Felipetto ve ark., 2022). Bu fark, çalışmanın yapıldığı bölgedeki gelir düzeyinin ve veteriner hizmetlerine erişim kolaylığının daha yüksek olmasından kaynaklanabilir. Yüksek gelir düzeyi, pet hayvan sahiplerinin veteriner masraflarını karşılayabilme kapasitelerini artırarak düzenli veteriner ziyaretlerini teşvik edebilir.

Gerektiğçe veteriner kliniğine gitme oranı da bu çalışmada oldukça yüksektir (%39,7). Bu oran, pet hayvan sahiplerinin kedilerinin sağlık durumunu yakından takip ettiğini ve gerektiğinde veteriner hizmetlerinden yararlandığını göstermektedir. Brezilya'daki (Felipetto ve ark., 2022) %4,4'lük oran ile kıyaslandığında bu fark, bölgesel sağlık bilinci ve veteriner hizmetlerine olan güvenin farklılıklarını yansıtabilir.

Bu çalışmada hiç veterinere gitmeyenlerin oranı (%8,3) oldukça düşüktür. Brezilya'da ise (Felipetto ve ark., 2022) bu oran oldukça yüksektir (%75,6). Bu, Türkiye'deki kedi sahiplerinin kedilerinin sağlığına daha fazla önem verdiklerini ve veteriner hizmetlerini daha sık kullandıklarını göstermektedir. Yine, gelir düzeyi ve veteriner hizmetlerine erişim kolaylığı bu farkın temel nedenleri arasında olabilir.

Nadiren veterinere gitme oranı %8,1'dir ve bu oran, pet hayvan sahiplerinin kedilerinin sağlığı konusunda bilinçli olduklarını ancak çeşitli nedenlerle (örneğin, maliyet, ulaşım zorlukları) veteriner hizmetlerinden yeterince yararlanamadıklarını gösterebilir.

Bu çalışmada düzenli ve gerektiğçe veteriner ziyaret oranlarının yüksek olması, kedi sahiplerinin gelir düzeyinin daha yüksek olmasına ve veteriner hizmetlerine erişim kolaylığına bağlanabilir. Bu durum, kedilerin sağlık durumlarının daha yakından takip edilmesini ve gerektiğinde müdahale edilmesini sağlamaktadır.

Pet hayvanlardan insanlara bulaşabilen zoonoz hastalıkların önlenmesi için düzenli veteriner klinik ziyaretleri önemlidir. Kedilerin düzenli olarak veteriner kliniğine götürülmesi, gerekli aşuların yapılması ve genel sağlık kontrollerinin sağlanması hem kedilerin hem de sahiplerinin sağlıklarının korunmasına yardımcı olur. Veteriner kliniği hizmetlerinin kullanımı, pet hayvan sağlığı ve refahı açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmanın sonuçları, kedi sahiplerinin veteriner kliniği hizmetlerine önem verdiğini ve bu hizmetlerden yararlandığını göstermektedir. Veteriner kliniği

ziyaretlerinin teşvik edilmesi ve bu hizmetlere erişimin artırılması, pet hayvan sağlığı ve refahının iyileştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Sonuç olarak, veteriner kliniği ziyaretlerinin yüksek oranlarda olması, kedilerin sağlıklarının korunması ve zoonoz hastalıkların önlenmesi açısından olumlu bir gösterge olup, bu hizmetlerin öneminin vurgulanması gerektiğini göstermektedir.

Tatile Giderken Kedinin Bırakıldığı Yer

Ankete katılanların “Tatile giderken kedinizi nereye bırakıyorsunuz?” sorusuna verdiği cevaplar %38,3’ü “yanımda götürüyorum”, %33,2’si “tanıdık birine bırakıyorum”, %17,7’si “komşuya bırakıyorum” ve %10,8’i “otele bırakıyorum” şeklindedir (Tablo 3). Bu çalışma, kedi sahiplerinin tatil dönemlerinde kedilerini nereye bıraktıkları konusunda farklı tercihlerde bulunduğunu göstermektedir. Tatile çıkarken kedisini yanında götürenlerin oranı bu çalışmada %38,3 iken, Mardin’de %46,4 (Erten ve ark., 2019), Bandırma’da %35,9 (Alarslan ve ark., 2022), Elâzığ ilinde ise %40,9 (Erten ve ark., 2022) olarak bildirilmiştir.

Kedi sahiplerinin önemli bir kısmı tatil dönemlerinde kedilerini yanlarında götürmeyi tercih etmektedir. Bu, sahiplerin kedileriyle olan bağlarının güçlü olduğunu ve onları bırakmak istemediklerini göstermektedir. Özellikle Mardin ve Elâzığ’da bu oran oldukça yüksektir, bu da bölgesel farklılıkların olduğunu ortaya koymaktadır.

Tatile çıkarken kedisini tanıdık veya arkadaşına bırakanların oranı bu çalışmada %33,2 iken, Alanya’da %36,8 (Erten ve ark., 2019), Bandırma’da %36,8 (Alarslan ve ark., 2022), Elâzığ’da ise %31,2 (Erten ve ark., 2022) olarak bildirilmiştir. Bu sonuçlar, kedi sahiplerinin kedilerini güvenilir kişilere emanet etmeyi tercih ettiklerini göstermektedir.

Tatile çıkarken kedisini otele veya pansiyona bırakanların oranı bu çalışmada %10,8 iken, Elâzığ’da %19,4 (Erten ve ark., 2022) olarak bildirilmiştir. Otel veya pansiyon gibi profesyonel hizmetler, bazı kedi sahipleri tarafından tercih edilmektedir. Elâzığ’da bu oranın daha yüksek olması, bölgede bu tür hizmetlerin daha yaygın veya tercih edilen bir seçenek olduğunu gösterebilir.

Farklı bölgelerde yapılan çalışmalar, kedi sahiplerinin kedilerini bırakma tercihleri konusunda kültürel ve bölgesel farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Mardin ve Elâzığ’da yanında götürme oranlarının yüksek olması, bu bölgelerdeki sahiplerin kedilerine karşı duydukları güçlü bağları ve belki de pet hayvan dostu seyahat olanaklarının yaygınlığını yansıtabilir.

Tanıdık veya arkadaşına bırakma seçeneklerinin yüksek oranda tercih edilmesi, kedi sahiplerinin tatil dönemlerinde kedilerini güvendikleri kişilere emanet ederek kedilerinin iyi bakılmasını sağlama eğiliminde olduklarını göstermektedir.

Otel veya pansiyon gibi profesyonel hizmetlerin tercih edilme oranı, kedi sahiplerinin bu tür hizmetlere erişiminin ve güveninin bir göstergesidir. Bu seçenek, özellikle uzun tatillerde veya kedilerin özel bakıma ihtiyaç duyduğu durumlarda önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Kediler ile Geçirilen Zaman

Ankete katılanların “Kedilerle günlük ne kadar zaman geçiriyorsunuz?” sorusuna verdiği cevaplar %0,5’i bir saatten az, %11,5’i bir-üç saat ve %88,0’i üç saatten fazla zaman geçirdiklerini belirtmiştir (Tablo 3). Bu sonuçlar, kedi sahiplerinin büyük bir çoğunluğunun (%88,0) kedileriyle günlük olarak üç saatten fazla zaman geçirdiğini göstermektedir. Bu bulgular, kedi sahiplerinin kedilerine yoğun ilgi ve zaman ayırdığını, kedileriyle vakit geçirmeyi önemli bir aktivite olarak gördüğü ve onlara yoğun ilgi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Kedilerle uzun süre vakit geçirmek, onların fiziksel ve psikolojik ihtiyaçlarının daha iyi karşılanmasını sağlar. Kedi sahiplerinin, kedilerin sağlık, oyun ve sosyal ihtiyaçlarını gidermek için daha fazla zaman ayırmaları, kedilerin genel refahı üzerinde olumlu bir etki oluşturmaktadır. Bu sonuçlar aynı zamanda, pet hayvanların insanların yaşamında önemli bir sosyal destek kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürde pet hayvanları sahiplenmenin sebepleri oldukça çeşitlidir. Yaşlı bireylerde pet hayvan sahiplenmenin, yalnızlık duygusunu azalttığı, refah ve fiziksel aktiviteyi artırdığı bildirilmiştir (Obradovic ve ark., 2023). Matchock (2015) tarafından yapılan çalışmada ise pet hayvanı sahiplenmenin, kardiyovasküler ölçümlerde iyileşmeler sağladığı ve yalnız duygusunda azalmalar sağladığı bildirilmiştir (Matchock, 2015). Benzer şekilde, pet hayvan sahiplenmenin, yalnız yaşayan yaşlı insanlar arasındaki yalnızlık duygularını hafiflettiği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sorunları azaltmaya yardımcı olduğu bildirilmiştir (Stanley ve ark., 2014). Kedi sahiplerine kedileriyle daha kaliteli zaman geçirme ve onların ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılama konusunda eğitim verilmesi, kedilerin refahını daha da artırabilir.

Kedi sahiplenmenin sosyal ve psikolojik yararları hakkında farkındalık oluşturmak, pet hayvan sahiplenme oranlarını artırabilir ve toplum genelinde pet hayvan bakım kalitesini yükseltebilir. Sonuç olarak, bu çalışma kedi sahiplerinin kedileriyle ne kadar vakit geçirdiklerini ortaya koymakta ve kedilere olan bağlılığın yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, kedilerin sahiplerinin hayatında önemli bir yere sahip olduğunu ve onların refahına yönelik olumlu bir katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Barınma Yeri

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kedi sahiplerinin %87,6’sının kedilerini ev içinde, %12,4’ünün ise hem ev içinde hem de bahçede barındırdığını göstermektedir (Tablo 3).

Rochlitz (2005)’in çalışmasına göre, Amerika Birleşik Devletleri’nde kedi sahiplerinin %50-60’ı kedilerini iç mekânlarda barındırmaktadır. Bu oran, mevcut çalışmada elde edilen %87,6’lık iç mekan oranından oldukça düşüktür. Ayrıca, Tan ve ark. (2021)’in çalışması, Amerika ve Kanada’da kedi sahiplerinin %57’sinin kedilerini ev içinde tuttuğunu, %43’ünün ise dışarı çıkma imkânı sağladığını göstermektedir. Yine bu veriler de mevcut çalışmadaki yüksek iç mekân oranından farklıdır. Bu durum, kedi sahiplerinin kedilerini daha korumacı bir yaklaşımla evde tutmayı tercih ettiğini gösterebilir.

Rochlitz (2005)'in çalışmasında İngiltere'de çoğunluğun kedilerini dışarıda dolaştırmalarına izin verdiği belirtilmiştir. Bu oran, mevcut çalışmadaki %12,4'lük dış mekan kullanım oranına kıyasla oldukça yüksektir. İngiltere'deki kedi sahiplerinin kedilerine daha fazla özgürlük tanıdığı söylenebilir.

Toribio ve ark. (2009) çalışmasında, Avustralya (Sydney)'deki evlerin %72,6'sında kedilerin hem iç mekânda hem de dışarıda barındırıldığı belirtilmiştir. Bu oran, mevcut çalışmadaki %12,4'lük hem ev içinde hem de bahçede barındırma oranından oldukça farklıdır. Sydney'deki kedi sahipleri, kedilerine dışarıda vakit geçirme imkânı tanıma konusunda daha esnek görünmektedir.

Tan ve ark. (2021) çalışmasında ise Kanada'daki kedi sahiplerinin %57'sinin kedilerini ev içinde tuttuğu, %43'ünün ise dışarı çıkma imkanı sağladığı belirtilmiştir. Bu oranlar da mevcut çalışmadaki sonuçlardan farklılık göstermektedir.

Felipetto ve ark. (2022) Brezilya'da yaptığı çalışmada, kedilerin %66,8'inin herhangi bir kısıtlama olmaksızın sokakta serbest dolaştığı, %13,6'sının hem evde hem bahçede yaşadığı, %9,2'sinin sadece ev içinde yaşadığı, %5,5'inin bahçede serbest dolaştığı ve %4,9'unun sadece yürüyüş için sokağa çıktığı bulunmuştur. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada elde edilen yüksek iç mekan oranıyla büyük ölçüde farklıdır ve Brezilya'daki kedi sahiplerinin kedilerini daha serbest bıraktıklarını göstermektedir.

Bu karşılaştırmalar, kedi sahiplerinin kedilerini barındırma alışkanlıklarının ülkelere göre önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada elde edilen yüksek iç mekan oranı, Türkiye'deki kedi sahiplerinin kedilerini daha korumacı bir yaklaşımla evde tutmayı tercih ettiğini göstermektedir. İngiltere ve Brezilya gibi ülkelerde ise, kedi sahiplerinin kedilerine daha fazla dış mekan özgürlüğü tanıdığı görülmektedir. Bu farklılıklar, kültürel ve çevresel faktörlerin kedi barındırma alışkanlıklarını nasıl etkilediğini anlamak için önemli ipuçları sunmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Mart-Mayıs 2024 tarihleri arasında 1000 kedi sahibiyle yapılan anket, kedi sahiplenme oranlarının pandemi sonrasında arttığını ve bu artışın kedi sahipleri ile kurulan arkadaşlık bağlarının güçlendiğini göstermektedir. Katılımcıların demografik özellikleri (yaş, eğitim durumu, meslek) ve kedi bakım tercihleri, kedi sahipliğinin toplumsal bir fenomen olarak evrildiğini ortaya koymaktadır. Bulgular, pet hayvan sahiplenme eğilimlerinin duygusal bağlar, sosyal ihtiyaçlar ve demografik faktörlerle doğrudan bağlantılı olduğunu vurgulamaktadır.

Çalışmanın bulguları, kedi sahiplenme motivasyonlarının büyük ölçüde duygusal ve sosyal ihtiyaçlara dayandığını, özellikle genç ve orta yaş gruplarında sahiplenme oranlarının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu veriler, gelecekteki kedi refahı politikalarının yalnızca kedi sağlığını değil, aynı zamanda sahiplerin psikososyal ihtiyaçlarını da dikkate alması gerektiğine işaret etmektedir. Sokak hayvanlarının sahiplenilmesi, veteriner hizmetlerine erişimin artırılması ve bilinçlendirme programlarının genç kesimlere odaklanması gibi adımlar, kedi refahını geliştirmek için atılması gereken önemli adımlardır. Politika yapımcıların, kedi sahiplerine yönelik sağlık hizmetlerinin yanı sıra sosyal destek mekanizmalarını da içeren bütünsel bir yaklaşım benimsemesi önerilmektedir.

Yaş Dağılımı: Veriler, pet hayvan sahiplenme eğiliminin özellikle 18-40 yaş arası genç ve orta yaş gruplarında yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Bu bulgu, pet hayvan sahiplenmeye yönelik bilgilendirme ve farkındalık çalışmalarının bu yaş gruplarına odaklanmasının faydalı olabileceğini göstermektedir. Genç yetiştiricilere yönelik eğitim ve destek programları hem hayvan refahını artırmak hem de pet hayvan sahiplerinin bilinç düzeyini yükseltmek için önemli bir fırsat sunmaktadır.

Mesleki Dağılımı: Serbest meslek sahiplerinin pet hayvan sahiplenme oranının yüksek olması, esnek çalışma saatlerinin pet hayvan bakımı için uygun bir ortam sağladığını göstermektedir. Bu grup için pet hayvan bakımını kolaylaştıracak destekleyici politikalar geliştirilebilir. Ayrıca, öğrenci ve memur gruplarının pet hayvan sahiplenme eğilimleri, bu kesimlere yönelik bilgilendirme çalışmalarının planlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Eğitim Durumu: Çalışmada pet hayvan sahiplerinin eğitim düzeylerinin yüksek olması, hayvan refahına yönelik bilinçli yaklaşımlar geliştirme açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Yüksek eğitim düzeyine sahip bireylerin hayvanlarının sağlık ve refahına daha fazla özen göstermesi, toplumda pet hayvan sahiplenmeye yönelik bilinçlendirme kampanyalarının önemini vurgulamaktadır. Eğitim düzeyi düşük olan gruplar için ise hayvan bakımına dair temel bilgilerin verilmesi gerektiği söylenebilir.

Kedi Sahiplenme Yöntemleri: Arkadaşlardan ve sokaktan kedi sahiplenme oranlarının yüksek olması, güvenilir ve pratik yöntemler olarak görülmektedir. Ancak barınaklardan sahiplenme oranlarının düşük olması, barınak hayvanlarına yönelik farkındalığın artırılması gerektiğini göstermektedir. Barınaklardan sahiplenmeyi teşvik edici kampanyalar ve bilgilendirme çalışmaları, sahipsiz hayvanların yaşam kalitesini artırmada etkili olabilir.

İrk Dağılımı: Tekir kedilerin sahiplenilme oranının yüksek olması, bu ırkın dayanıklılığı ve genetik çeşitliliği ile ilişkilendirilebilir. Tekir kedilerin yaygın sahiplenilme oranı göz önüne alındığında, bu kedilere yönelik sağlık taramaları ve bakım konusunda bilgilendirme çalışmalarının yoğunlaştırılması önerilmektedir. Nadir ırklara yönelik yetiştiricilik programları ve koruma çalışmaları, bu ırkların korunmasına yönelik politikalarla desteklenmelidir.

Kedi Sahiplenme Süresi: Çalışmada pet hayvan sahiplenme süresinin kısa olması, pet hayvan sahiplerinin uzun vadeli sorumluluk alma konusunda daha fazla bilinçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle yeni sahiplenilen bireylerin uzun vadeli bakım gereksinimleri ve sorumlulukları hakkında bilgilendirilmesi, hayvan refahının korunması açısından önemlidir.

Veteriner Hekim-Klinik Hizmetleri Kullanımı: Veteriner klinik hizmetlerinden düzenli yararlanma oranının yüksek olması, kedilerin sağlık durumlarının yakından takip edildiğini göstermektedir. Ancak, veteriner hekim hizmetlerine daha seyrek giden ve hiç gitmeyen bireylerin bu hizmetlere erişiminin kolaylaştırılması ve maliyet açısından desteklenmesi gerekmektedir.

Öneriler

- Gençler için kedi sahiplenme ve bakım eğitimleri düzenlenerek, hayvan refahı konusunda farkındalık artırılmalıdır.
- Barınak hayvanlarının sahiplenilmesi teşvik edilmeli ve bu konuda toplumsal bilinç yükseltilmelidir.
- Eğitim düzeyi düşük bireylere temel hayvan bakım bilgileri sunan kampanyalar düzenlenmelidir.
- Veteriner hekim hizmetlerine erişimi zor olanlar için mobil klinikler veya daha düşük maliyetli veteriner hizmetleri sağlanabilir.
- Sokak hayvanlarının sahiplenilmesi teşvik edilmeli; belediyeler ve sivil toplum kuruluşlarıyla iş birliği güçlendirilmelidir.
- Kedi sahiplenme alışkanlıklarının sosyo-ekonomik yapıyla bağlantısı netleştirilmeli; düşük gelir grupları için veteriner hizmetlerine erişim kolaylaştırılmalıdır.
- Veteriner hekim sağlık hizmetlerinin önemi ve zoonoz hastalıkların önlenmesi konusunda halkı bilinçlendirmek için medya kampanyaları düzenlenmelidir. Veteriner hekimler ve hayvan sağlığı uzmanları, düzenli sağlık kontrollerinin kedilerin ve sahiplerinin sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini vurgulayan seminerler verebilirler.

Çıkar Çatışması

Yazarlar aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar katkısı

Tüm yazarlar makaleye katkı sağladıklarını beyan ederler.

Etik kurul

Çalışmanın yürütülmesi için KSÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulundan izin alınmıştır.

Teşekkür

Makale yazarları ankete destek veren pet hayvan sahiplerine teşekkür ederler.

Kaynaklar

Adamelli S., Marinelli L., Normando S., Bono G. Owner and cat features influence the quality of life of the cat. *Applied Animal Behaviour Science* 2005; 94(1-2): 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.02.003>.

Akbulut Ö., Yıldız N. İstatistik analizde temel formüller ve tablolar. Aktif Yayıncılık, İstanbul 2001.

Akinwehinmi O., del Amo P., Solsona F., Priegue A., Jimenez J. Paws for Concern: Spotting strays and abandoned pets in natural spaces. 2023 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2).

- Alarслан B., Alarслан E., Sögüt B. Pet hayvan sahiplerinin pet hayvanlara bakışlarının değerlendirilmesi-Balıkesir ili Bandırma ilçesi örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2022; 9(3): 651-657. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1100532>.
- Anonim. Yeni dönem başlıyor! Kedi ve köpek sahipleri dikkat. <https://tvhb.org.tr/2021/02/18/yeni-donem-basliyor-kedi-ve-kopek-sahipleri-dikkat/> [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024].
- Anonim. British Shorthair kedi cinsi ve özellikleri. 2023. <https://www.bigcattr.com/blog/icerik/british-shorthair-kedi-cinsi-ve-ozellikleri> [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024].
- Anonim. Tehlike sanılandan daha büyük: 8 milyon başıboş hayvan var. 2024a. <https://www.sabah.com.tr/yasam/tehlke-sanilandan-daha-buyuk-8-milyon-basibos-hayvan-var-6795174> #:~:text=Dünya%20Sağlık%20Örgütü;%20dünya%20nüfusunun,kedi%2C%20yüzde%2025%20ise%20köpek [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024].
- Anonim. Sahipsiz hayvanların sayısı uzmanları korkutuyor. 2024b. <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/sahipsiz-hayvanlarin-sayisi-uzmanlari-korkutuyor-778732.html> [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024].
- Anonim. Başboş sokak köpekleri 3 bin 476 trafik kazasına neden oldu. 2024c. <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/basibos-sokak-kopekleri-3-bin-476-trafik-kazasina-neden-oldu-859817.html>. [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024].
- Anonim. Ev hayvanı kayıt sistemi (PETVET). Tarım ve Orman Bakanlığı. 2024d. <http://portal.tarimorman.gov.tr> [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024].
- Anonim. Tekir (kedi). [https://tr.wikipedia.org/wiki/Tekir_\(kedi\)#](https://tr.wikipedia.org/wiki/Tekir_(kedi)#) [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024]. 2024e.
- Anonymous. Dog and cat neutering schemes. *Animal Welfare* 1996; 5(1): 83-84. <https://doi.org/10.1017/S0962728600018443>. <https://www.cambridge.org/core/journals/animal-welfare/article/dog-and-cat-neutering-schemes/DE182A103037BB90B147D230302690B3> [Erişim tarihi: 11 Ekim 2024].
- Bıyıkoglu K. Genel zootekni. Atatürk Üniversitesi Yayınları, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum 2009.
- Dabritz HA., Conrad PA. Cats and toxoplasma: Implications for public health. *Zoonoses and Public Health* 2010; 57(1): 34-52. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2009.01273.x>.
- Demir P., Uğurlu Koç A. Pet hayvan (Kedi-Köpek) sahiplerinin veteriner kliniklerine ilişkin beklentileri. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2014; 40(2): 168-175. <https://doi.org/10.16988/iuvfd.82049>.
- Erten Ö., Öztürk Y., Yılmaz O. Türkiye’de pet hayvan sahiplerinin sosyo-demografik yapıları ve pet hayvancılığına bakışları; Alanya-Mardin örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2019; 4(2): 76-83. DOI: 10.24880/maeuvsfd.598425.

- Erten Ö., Esen F., Şeker İ., Yüksel BF. Kedi sahiplerinin kedilerinin beden dilini anlama seviyelerinin belirlenmesi: Elazığ İli örneği. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2022; 19(1): 18-23. <https://doi.org/10.32707/ercivet.1085226>.
- Fahemeeda S., Parveen Z., Ansari M. Owner's perceptions and experiences with cat behavior and care: a survey. *International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)*, 2023; 5(4): 1-10.
- Fatjó J., Bowen J., García E., Calvo P., Rueda S., Amblás S., Lalanza JF. Epidemiology of dog and cat abandonment in Spain (2008–2013). *Animals* 2015; 5(2): 426-441. <https://doi.org/10.3390/ani5020364>.
- Felipetto LG., Fernandes FD., Vogel FSF., Flores EF., Botton SA., Sangioni LA. Demographics and health care profiles of dogs and cats associated with the socioeconomic profile of their tutors in areas assisted by Family Health Strategies in Brazil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 2022; 74(06): 1007-1016. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12708>.
- Gasteiger N., Vedhara K., Massey A., Jia R., Ayling K., Chalder T., Coupland C., Broadbent E. Depression, anxiety and stress during the COVID-19 pandemic: results from a New Zealand cohort study on mental well-being. *BMJ Open* 2021; 11(5): e045325. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-045325>.
- González-Ramírez MT., Landero-Hernández R. Pet–human relationships: Dogs versus cats. *Animals* 2021; 11(9): 2745. <https://doi.org/10.3390/ani11092745>.
- Gourkow N., Fraser D. The effect of housing and handling practices on the welfare, behaviour and selection of domestic cats (*Felis sylvestris catus*) by adopters in an animal shelter. *Animal Welfare* 2006; 15(4): 371-377.
- Hanusz E., Skibniewska EM., Skibniewski M. Handling of stray dogs in the polish lands from the 19th to the 21st century with consideration of irregularities in this area. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica* 2022; 64(4): 12-22. <https://doi.org/10.21005/aapz2022.64.4.2>.
- Istrate A., Peteoaca A., Constantinescu R., Tanase A. Radiological aspects associated with osteochondrodysplasia in a Scottish Fold cat. *Scientific Works. Series C. Veterinary Medicine* 2020; 66(1): 43-46.
- Ilhan Z., Karaca M., Ekin IH., Solmaz H., Akkan HA., Tutuncu M. Detection of seasonal asymptomatic dermatophytes in Van cats. *Brazilian Journal of Microbiology* 2016; 47(1): 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2015.11.027>.
- Külcü R. Endüstriyel hayvancılığın etik eksende sorgulanması. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi* 2019; 5(1): 11-26.
- Levy JK., Crawford PC. Humane strategies for controlling feral cat populations. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 2004; 225(9): 1354-1360. <https://doi.org/10.2460/JAVMA.2004.225.1354>.

- de Lucena RC., Santos RFS., van der Linden LA., das Chagas MMM., Silva FMFM., de Lima HR., de Moura RTD., de Lima ER. Role of the cat-human bond in supporting the tutors' mental health. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2023; 6(2): 1635-1645. <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n2-055>.
- Matchock RL. Pet ownership and physical health. *Current Opinion in Psychiatry* 2015; 28(5): 386-392. <https://doi.org/10.1097/YCO.000000000000183>.
- Menteş Gürler A., Osmanağaoğlu, Ş. Türkiye’de hayvanları koruma kanununun tarihsel gelişimi. *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 2009; 15(3): 325-330.
- Obradovic N., Lagueux É., Michaud F., Provencher V. Pros and cons of pet ownership in old age. *Journal of Aging & Social Policy* 2023; 35(3): 343-361. <https://doi.org/10.1080/08959420.2022.2127955>.
- Oğrak YZ., Türkmen A., Yılmaz C. Sivas ilinde pet hayvanları yetiştiriciliği eğiliminin araştırılması. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2014; 2(4): 171-174.
- Perdomo EB., Padilla JEA., Dewitte S. Amelioration of pet overpopulation and abandonment using control of breeding and sale, and compulsory owner liability insurance. *Animals* 2021; 11(2): 524. <https://doi.org/10.3390/ani11020524>.
- Protopopova A. The impact of global disasters on our pets: lessons from COVID-19. *Journal of Animal Science* 2021; 99(Suppl 3): 5-6. <https://doi.org/10.1093/jas/skab235.009>.
- Rochlitz I. A review of the housing requirements of domestic cats (*Felis silvestris catus*) kept in the home. *Applied Animal Behaviour Science*, 2005; 93(1-2): 97-109. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2005.01.002>.
- Sanderson SL., Emerson KG., Scott DW., Vidrine M., Hartzell DL., Keys DA. The impact of cat fostering on older adult well-being and loneliness: A feasibility study. *The Journals of Gerontology: Series B* 2023; 79(1): gbad140.
- Sarial Kubilay GS., Bozkurt Z. Animal welfare attitudes of pet owners: an investigation in central and western parts of Turkey. *Kocatepe Veterinary Journal* 2020; 13(4): 388-395. <https://doi.org/10.30607/kvj.794748>.
- Sinn L. Factors affecting the selection of cats by adopters. *Journal of Veterinary Behavior* 2016; 14: 5-9. <https://doi.org/10.1016/J.JVEB.2016.06.001>.
- Stanley IH., Conwell, Y., Bowen, C., Van Orden, KA. Pet ownership may attenuate loneliness among older adult primary care patients who live alone. *Aging & Mental Health*, 2014; 18(3): 394-399. <https://doi.org/10.1080/13607863.2013.837147>.
- Tan SML., Jajou S., Stellato AC., Niel L. Perspectives of Canadian and American cat owners on provision of uncontrolled outdoor access for owned domestic cats. *Frontiers in Veterinary Science* 2021; 8: 742245. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.742245>.

- Teng KT., McGreevy PD., Toribio JALML., Dhand NK. Trends in popularity of some morphological traits of purebred dogs in Australia. *Canine Genetics and Epidemiology* 2016; 3: 2. <https://doi.org/10.1186/s40575-016-0032-2>.
- Toribio JALM., Norris JM., White JD., Dhand NK., Hamilton SA., Malik R. Demographics and husbandry of pet cats living in Sydney, Australia: Results of cross-sectional survey of pet ownership. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2009; 11(6): 449-461. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2008.06.010>.
- Yilmaz O., Erturk YE., Coskun F., Wilson RT. The domestic livestock resources of Turkey: Social aspects, genetic resources and conservation of companion animal cats (*felis catus*). *Animal Review* 2016; 3(4): 83-90.

Varyant Etki Tahmininde Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Kullanımına Yönelik Bibliyometrik Bir Analiz

Gülbahar Merve ŞILBIR^{1*}, Burçin KURT²

¹Trabzon Üniversitesi, Trabzon

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi Bölümü, Trabzon

¹<https://orcid.org/0000-0003-0321-7259>

²<https://orcid.org/0000-0001-5781-2382>

*Sorumlu yazar: gmervecakmak@trabzon.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.06.2024

Kabul tarihi: 12.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Bibliyometrik analiz

Bibliyometriks

Varyant etki tahmini

Makine öğrenmesi

İnsan genomunda oluşan varyantların fenotip üzerindeki etkisinin tahmin edilmesinde yapay zeka, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi hesaplamalı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar son zamanlarda giderek artmaktadır. Bu çalışmanın amacı bibliyometrik yöntem kullanılarak varyant etki tahmininde makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanıldığı bilimsel araştırmalara genel bir bakış sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada ilgili literatüre ulaşmak için Web of Science Core Collection (WoSCC) veritabanı kullanılmıştır. Ülkeler, kurumlar, yazarlar, dergiler, alıntılar ve anahtar kelimeler R-Studio programında "bibliometrix" kütüphanesi kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda göre varyant etki tahmininde makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımına ilişkin yapılan bilimsel yayınların son yıllarda popülerliğinin giderek arttığı ve bu artıştaki en büyük payın United States'te yer alan kurumların China, Germany, England ve Australia ile ortak araştırmalara bağlı olduğu görülmüştür. En çok atıf alan yazarın Jian Zhou (1.116), yazarlar arası atıflarda öne çıkan yazarların ise Jonathan Frazer ve José Juan Almagro Armenteros olduğu görülmüştür. Çalışmalarda ele alınan konuların makine öğrenmesi ve derin öğrenme temalarında şekillendiği belirlenmiştir. Bu alanda araştırılan konular arasında amino asit varyantları, genom düzeyindeki mutasyonlar, varyantların yapısal bilgileri, covid-19 mutasyonları ve protein yapısı yer almaktadır. Gelecekteki çalışmalarda bu araştırma konuları makine öğrenmesi ve derin öğrenmeye dayalı farklı yöntemlerle araştırılabilir.

A Bibliometric Analysis of the Use of Machine Learning Methods in Variant Effect Prediction

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 27.06.2024

Accepted: 12.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Bibliometric analysis

Bibliometrix

Variant effect prediction

Machine learning

The application of computational methods, including artificial intelligence, machine learning, and deep learning, to the prediction of the effects of variants in the human genome on phenotype has been on the rise in recent times. The objective of this study is to present a comprehensive overview of scientific studies utilizing machine learning methodologies for the prediction of variant effects, employing the bibliometric approach. To achieve this, the Web of Science Core Collection (WoSCC) database was utilized to access the relevant literature pertinent to the study. The analysis was conducted using the "bibliometrix" library in the R-Studio program, with a focus on countries, institutions, authors, journals, citations, and keywords. The results of the analysis indicate that the popularity of scientific publications on the use of machine learning methods in variant effect prediction has increased in recent years. This growth can be attributed primarily to collaborative research efforts

between institutions in the United States and those in China, Germany, England, and Australia. The most frequently cited author was Jian Zhou, with 1.116 citations. Jonathan Frazer and José Juan Almagro Armenteros were the most prominent authors in terms of citations between authors. The studies revealed that the topics covered were shaped by the themes of machine learning and deep learning. The topics researched in this field included amino acid variants, mutations at the genome level, structural information of variants, covid-19 mutations, and protein structure. In future studies, these research topics can be investigated with different methods based on machine learning and deep learning.

To Cite: Şilbir GM., Kurt B. A Bibliometric Analysis of the Use of Machine Learning Methods in Variant Effect Prediction. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 632-651.

1. Introduction

A significant advancement has been made in the field of bioinformatics with the implementation of large-scale genome projects. These projects examine the human genome structure to identify genes associated with diseases (The International HapMap Consortium, 2003; The ENCODE Project Consortium, 2007; The 1000 Genomes Project Consortium, 2010; Fidanoğlu et al., 2013; Qu and Fang, 2013). Some changes in the genome, which play a fundamental role in the formation of differences between individuals, may occur at different frequencies and structures (Tang and Thomas, 2016). Should these changes occur in a manner that may give rise to disease in the human phenotype, it becomes imperative to conduct experimental or computational studies at the genome level to gain further insight into the pertinent alteration (Niroula and Vihinen, 2016; Xu et al., 2021). Some studies have been conducted to determine the pathogenicity effects of these changes, which are known as genetic variants, on the proteins that are the products of the genes in question, due to their potential to directly affect the phenotype (Qiu et al., 2020). In particular, studies employing computational methods, including artificial intelligence, machine learning, and deep learning, have gained prominence in recent years as a means of determining the impact of these millions of variants on the phenotype, as evidenced by whole genome sequencing studies (Li et al., 2012; Ionita-Laza et al., 2016; Livesey and Marsh, 2023).

In the process of predicting the effect that a genetic variant may have on the phenotype, three principal types of information are employed: Information about protein sequence, evolutionary conservation, and structural characteristics is utilized in this process (Tang and Thomas, 2016; Riesselman et al., 2018). The number of studies in which this information is obtained from open-access databases and analyzed with computational methods to predict whether the variant is pathogenic is increasing daily. However, obtaining this data for each of the millions of variants can be a laborious and time-consuming process (Angermueller et al., 2016). Consequently, it is more feasible to develop predictions about variants with unknown effects based on variants with experimentally proven effects. In this regard, the potential of machine learning methods in variant effect prediction is being investigated.

A substantial corpus of scientific literature exists on the subject of machine learning and its application to the prediction of variant effects. The studies in this literature employ a variety of variant datasets and computational methods (Rentzsch et al., 2021; Horne and Shukla, 2022; Bromberg et al., 2024). Mahmood et al. (2017) compared the performance of the developed prediction models on different

benchmark datasets in their study in which they evaluated the success of the developed prediction models in their publications investigating the use of machine learning methods in variant effect prediction. Similarly, Niroula and Vihinen (2019) tried to determine the most successful prediction model for variant effect estimation in the literature. Such evaluation studies appear to provide valuable guidance in determining the most successful model for variant effect prediction. Nevertheless, the extant literature on the utilization of machine learning techniques in variant effect prediction remains incomplete, and the number of generalizations derived from research is limited. To address these deficiencies, the objective of this study is to present the intellectual structure and development over time of scientific publications on the use of machine learning methods in variant effect prediction in the literature. This study aims to provide a source of information with general trends and recommendations to those investigating the use of machine learning methods in variant effect prediction.

This study presents a bibliometric analysis of scientific research utilising machine learning methods for variant effect prediction. The analysis is conducted from a broad perspective, with a particular focus on variant effect prediction from a holistic standpoint. We believe that this study will make a substantial contribution to the extant literature on this subject, providing insights that can inform future scientific studies on the use of machine learning in variable effect prediction.

2. Material and Methods

2.1. Data Source and Search Method

The literature data on the utilisation of machine learning methodologies for the prediction of variant effects was obtained through the utilisation of the Web of Science Core Collection (WoSCC) database. The relevant literature data was published in the Web of Science Core Collection database on 7.3.2024 with the keywords “((variant prediction model or mutation prediction model) same variant effect prediction*) and (machine learning* or deep learning* or supervised learning*) and “topic (topic)”. 335 publications were reached in the research conducted by selecting “)”. According to years, 216 articles, 78 Early Access, 19 proceeding papers, 10 review articles and 12 other publication types were accessed, with the oldest being 1995 and the newest being 2024. Filtering procedures were carried out for these publications obtained within the scope of the research. Accordingly, 12 publications (book chapter, data paper, retracted publication) were excluded from the research. The analytical procedures employed in this study are based on the measures proposed by Donthu et al. (2021). The work of Donthu et al. (2021) represents a significant contribution to the field of bibliometric analysis, offering a comprehensive overview of current techniques and procedures. The methodology employed for the identification and analysis of pertinent literature is illustrated in Figure 1.

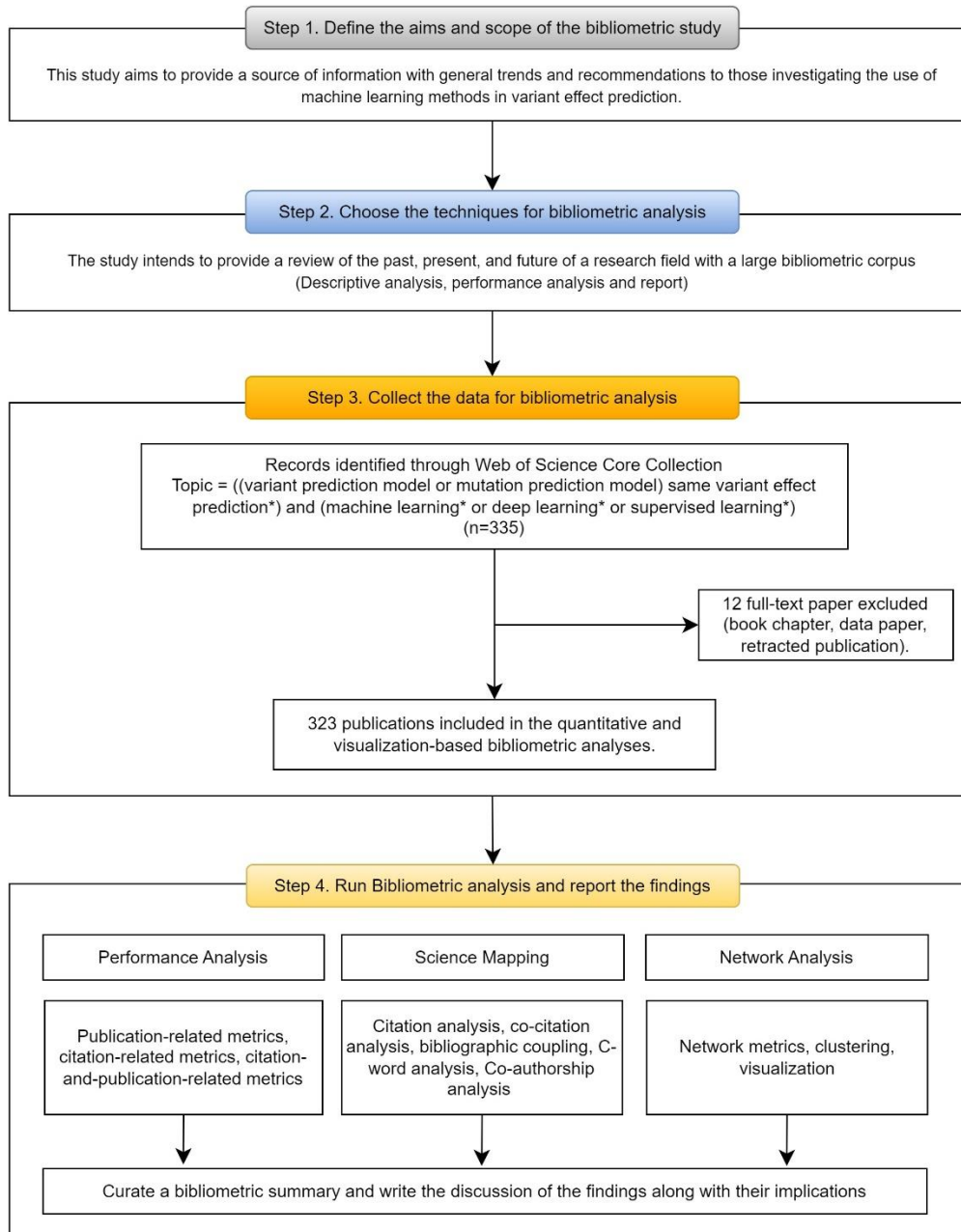


Figure 1. Flow diagram of the publication search and analysis process

2.2. Analysis of Data

To facilitate the research process, the data sources obtained from the WoSCC database were exported as a BibTeX file. The "bibliometrix" library was employed in the R-Studio program to analyse the data (Aria and Cuccurullo, 2017). The distribution of studies on the use of machine learning methods in variant impact estimation research by years, countries and authors, the average number of citations, journals that publish the most on the subject, authors who do the most research, citation percentages of authors, scientific productivity of countries, most cited research documents, collaboration networks of researchers, word cloud maps, co-word analysis, trend topic (keywords and abstract), cumulative distribution of keywords, factor analysis, thematic change were accessed.

3. Results

3.1. Article Distribution by Publication Year

A review of the literature reveals that the use of machine learning methods for variant effect prediction first emerged in 1995. Figure 2 illustrates that a total of 323 articles were published between 1995 and March 2024, with an increasing trend evident in this field on an annual basis. Notably, no scientific articles were published in this field between 1996 and 2003. However, publications investigating the use of machine learning methods in research in the field of variant effect prediction have increased in the following years, particularly after 2017.

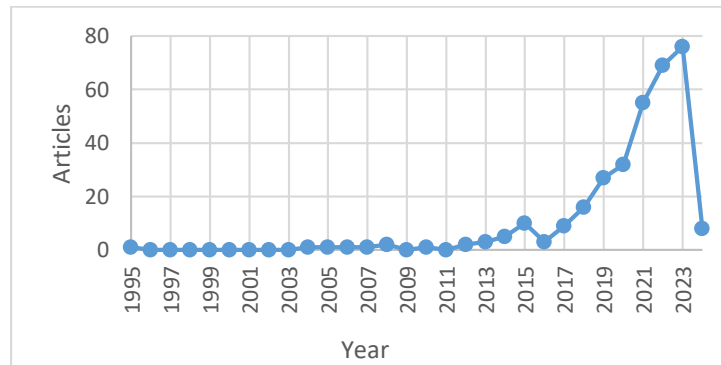


Figure 2. Trends in the number of publications from 1995 to 2024

3.2. Institutes, Countries, and Regions

A review of publications by country reveals that the United States is the leading contributor, with 132 articles, followed by China (69), Germany (34), England (31), India (21), Australia (19), Italy (18), France (14), Canada (13), and Denmark (13). These countries are listed in descending order of publication output. The map in Figure 3 illustrates the international collaboration in research and publication activities among these countries. Upon examining the map in Figure 3, it is observed that the United States is represented in dark blue. This highlights numerous publications showing that the United States plays a critical role in significantly contributing to studies using machine learning methods for variant impact prediction. The frequency of other research in this area is illustrated by a transition from dark blue to light blue on the map displayed in Figure 3. Furthermore, cross-country collaborations are evident in Figure 3.

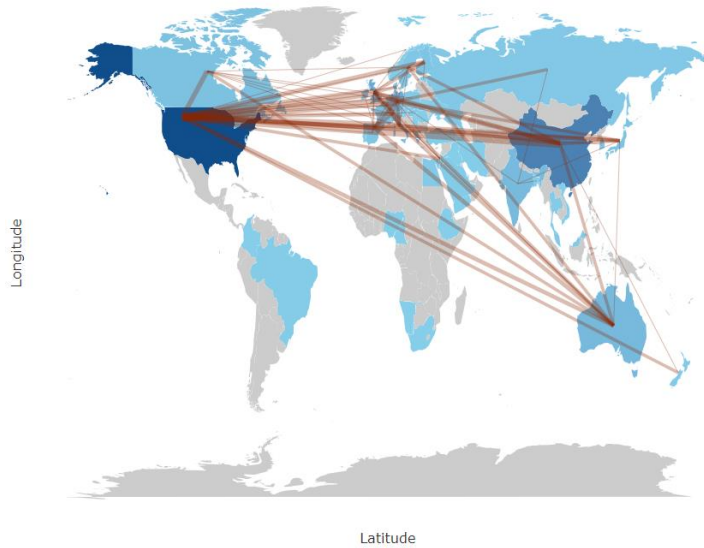


Figure 3. Country collaboration map

Figure 4 presents a ranking of the top ten academic institutions that have made significant contributions to the field of machine learning-based variant impact prediction. The University of California San Francisco, the University of Washington, and Columbia University have emerged as the leading institutions, with respective publication counts of 34, 29, and 22.

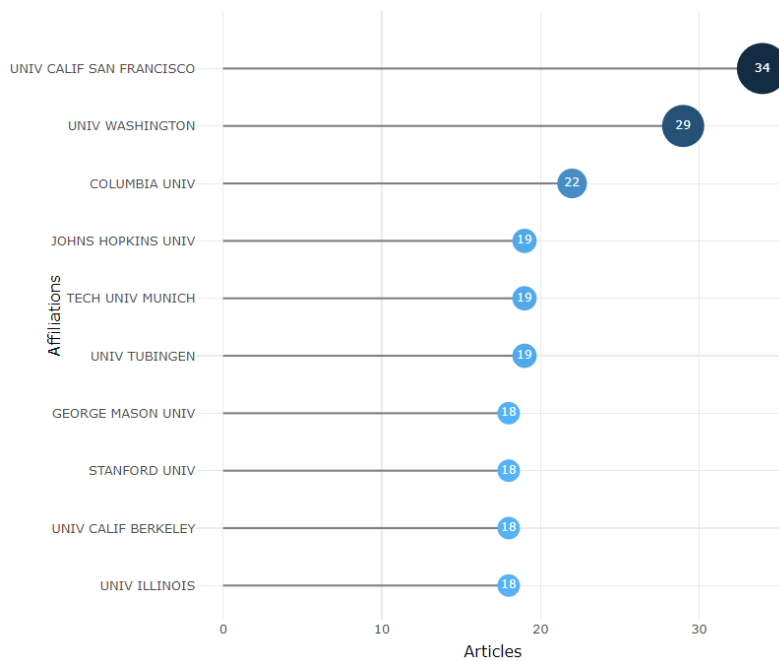


Figure 4. Top 10 relevant institutes

Figure 5 illustrates the countries most frequently cited in scientific publications on the utilisation of machine learning methodologies for variant impact prediction. It can be observed that the United States is the most frequently cited country (2703), followed by Denmark (761), China (654), Germany (555)

and Spain (434). The remaining countries are listed in Figure 5 in descending order of citation, totalling 15 countries.

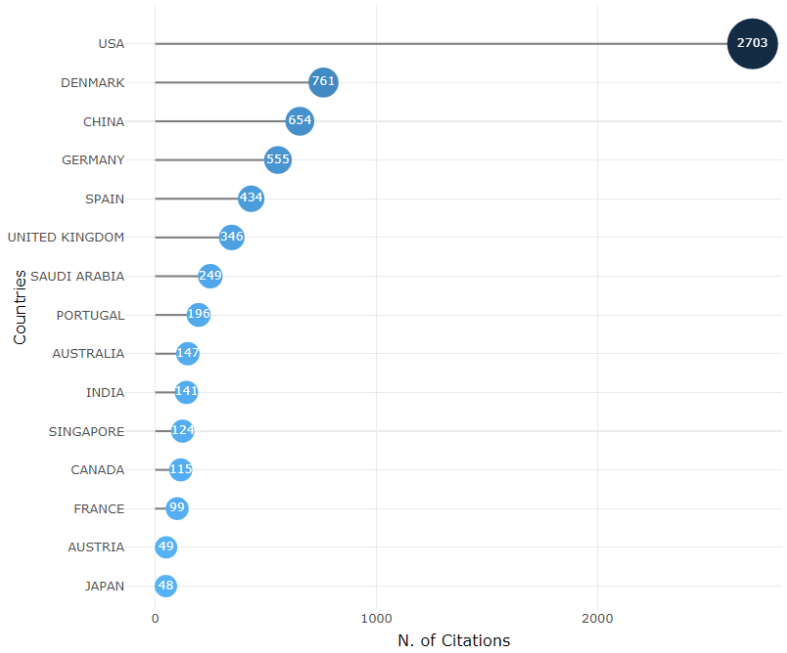


Figure 5. Most cited countries

3.3. Journals

The journals in which scientific research on the use of machine learning methods in variant effect estimation was published were subjected to analysis, and the journals in which the articles in this field were published most frequently were identified. The ten journals that have published the most articles in this field are listed in Figure 6. The most frequently cited journals are Human Mutation (13), BMC Bioinformatics (11), Genome Biology (8), PLOS One (8), and PLOS Computational Biology (7).

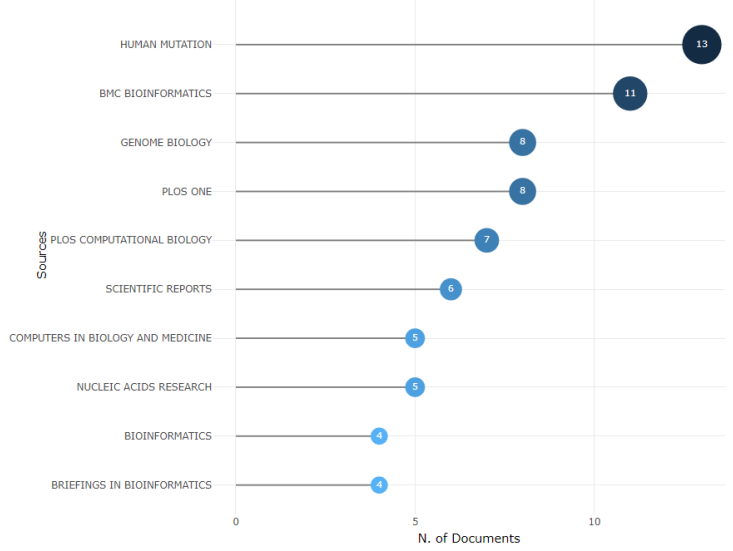


Figure 6. Most relevant sources

By examining the citation levels of the journals in which the relevant publications were published, it is possible to identify the ten journals with the highest number of citations. As illustrated in Figure 7, the most frequently cited journal in this field is Nucleic Acids Research, with a total of 758 citations. Other highly-cited journals include Bioinformatics (581 citations), Nature (463 citations), and Nature Genetics (387 citations).

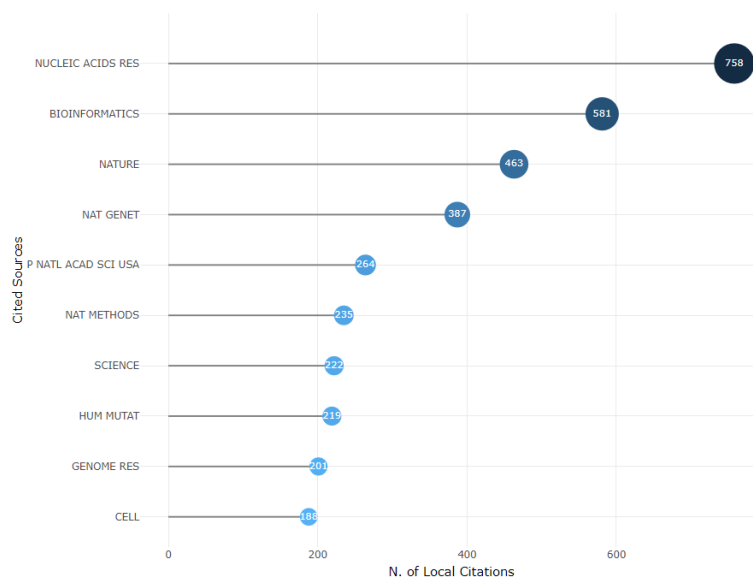


Figure 7. Most local cited sources

3.4. Authors

This study examines the publication frequencies of authors engaged in scientific research on the use of machine learning methods in variant effect prediction. The ten authors with the highest publication counts are presented in Figure 8. The data reveal that Yongguo Liu, Yun Zhang, Majid Masso, Haicang Zhang, Yuedong Yang, and Jiajing Zhu are the most prolific authors in this field, having published 11, 8, 7, 6, and 5 articles, respectively.

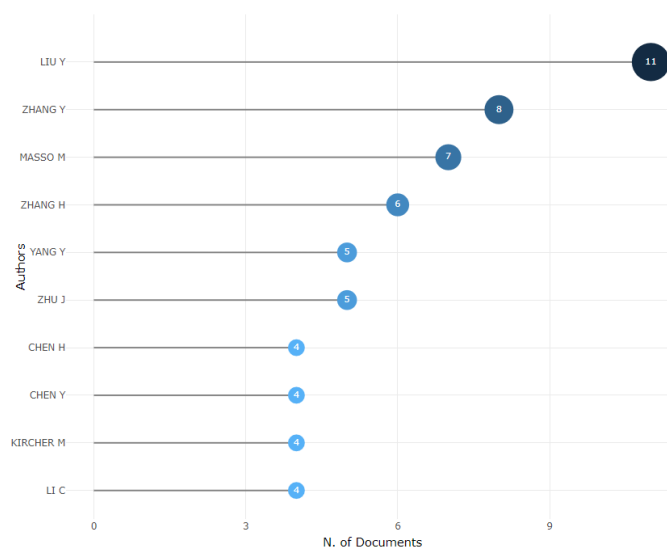


Figure 8. Most relevant authors

The graph in Figure 9 illustrates the evolution of publication output by authors over time. It was observed that the authors in question produced publications between the specified years. The period of publication for Yongguo Liu is 2017-2023, for Yun Zhang it is 2021-2023, and for Majid Masso it is 2008-2020. The graph also shows that Haicang Zhang published between 2019 and 2024, Yuedong Yang between 2013 and 2022, and Jiajing Zhu between 2020 and 2023. It can be seen that Majid Masso and Yuedong Yang have been publishing in this field for a considerable period.

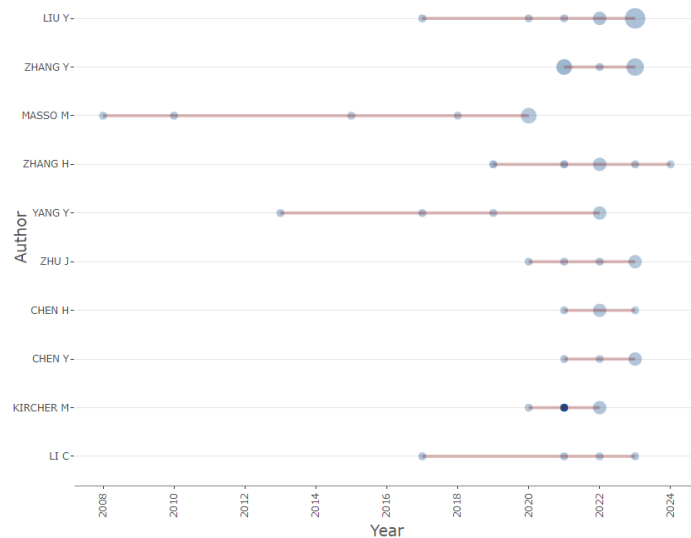


Figure 9. Authors' production over time

The citation levels of authors were examined according to publication year and published journal. The most cited author, publication year and published journal are presented in Figure 10. Upon examination of Figure 10, it can be observed that the article published by Jian Zhou (1.116) in the Nature Methods journal in 2015 received the highest number of citations. The other top ten most cited authors in the field are shown in Figure 10.

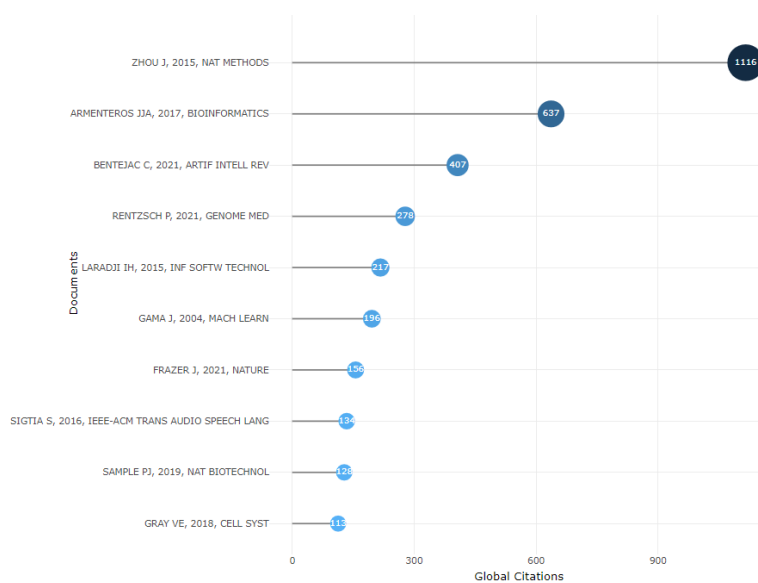


Figure 10. Most globally cited documents

The citation network and the relationships between citations are illustrated in Figure 11. Upon examination of Figure 11, it becomes evident that the most cited authors are represented by coloured circles, with the relationships between them indicated by coloured lines. In this context, Martin Kircher's publication in 2014, Ivan A. Adzhubei's publication in 2010, and Jian Zhou's publication in 2015 emerge as particularly noteworthy.

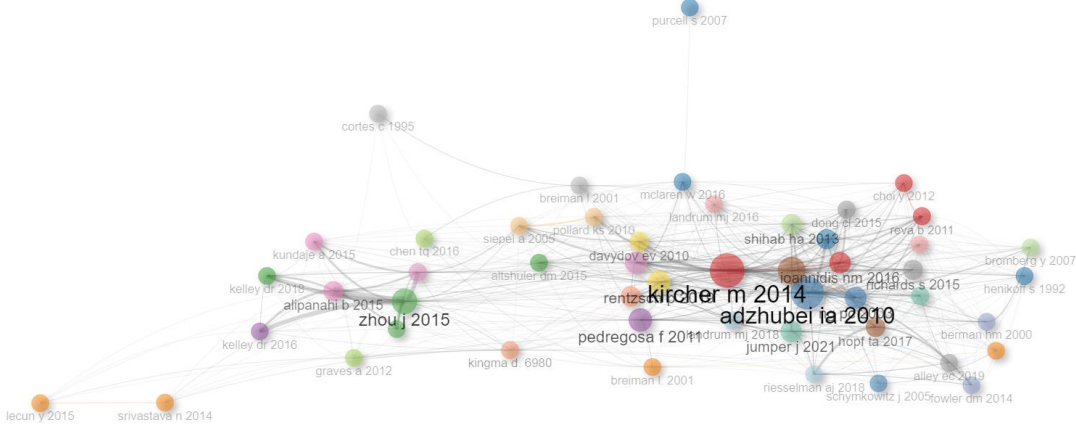


Figure 11. Co-citation network

A Local Citation Score (LCS) and Global Citation Score (GLC) analysis of between-authors citations was conducted, and the resulting network is presented in Figure 12. Upon examination of the network depicted in Figure 12, it becomes evident that the citations between authors are grouped into six clusters, each distinguished by a distinct colour. The lines representing the citations within each cluster are indicated by the same colour as the cluster itself. Table 1 presents the publications belonging to each cluster, along with their respective LCS and GLC values. The LCS value indicates the number of citations made to publications within a given cluster by other publications within that same cluster. In contrast, the GLC value represents the total number of citations a given publication has received.

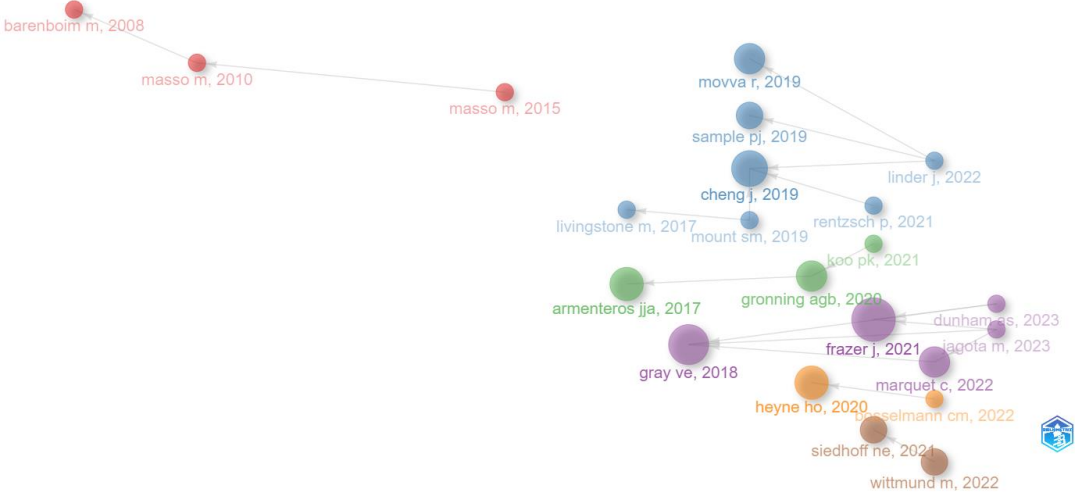


Figure 12. Historiograph

Table 1. Details of papers citation network (historiograph)

Paper	Title	LCS	GCS	Cluster	Color
Barenboim M, 2008, Proteins	Statistical geometry based prediction of nonsynonymous snp functional effects using random forest and neuro-fuzzy classifiers	1	27	1	Red
Masso M, 2010, j theor biol	Knowledge-based computational mutagenesis for predicting the disease potential of human non-synonymous single nucleotide polymorphisms	1	46	1	
Masso M, 2015, peerj	Modeling functional changes to Escherichia coli thymidylate synthase upon single residue replacements: a structure-based approach	1	3	1	
Livingstone M, 2017, Hum Mutat	Investigating DNA, RNA, and protein-based features as means to discriminate pathogenic synonymous variants	1	30	2	Blue
Mount SM, 2019, Hum Mutat	Assessing predictions of the impact of variants on splicing in CAGI5	1	10	2	
Sample PJ, 2019, Nat Biotechnol	Human 5' utr design and variable effect prediction from a massively parallel translation assay	2	128	2	
Cheng J, 2019, Genome Biol	Mmsplice: modular modeling improves the predictions of genetic variable effects on splicing	5	95	2	
Movva R, 2019, Plos One	Deciphering regulatory DNA sequences and noncoding genetic variants using neural network models of massively parallel reporter assays	3	40	2	
Rentzsch P, 2021, Genome Med	Cadd-splice-improving genome-wide variant effect prediction using deep learning-derived splice scores	1	278	2	
Linder J, 2022, Nat Mach Intell	Interpreting neural networks for biological sequences by learning stochastic masks	1	6	2	
Armenteros JJA, 2017, Bioinformatics	Deeploc: prediction of protein subcellular localization using deep learning	4	637	3	Green
Gronning AGB, 2020, Nucleic Acids Pic	Deepclip: predicting the effect of mutations on protein-rna binding with deep learning	3	47	3	
Koo PK, 2021, Plos Comput Biol	Global importance analysis: an interpretability method to quantify importance of genomic features in deep neural networks	1	23	3	
Gray, 2018, Cell Syst	Quantitative missense variant effect prediction using large-scale mutagenesis data	7	113	4	Purple
Frazer J, 2021, Nature	Disease variant prediction with deep generative models of evolutionary data	9	156	4	
Marquet C, 2022, Hum Genet	Embeddings from protein language models prediction conservation and variable effects	3	33	4	
Dunham AS, 2023, Genome Biol	High-throughput deep learning variable effect prediction with sequence unet	1	5	4	
Jagota M, 2023, Genome Biol	Cross-protein transfer learning substantially improves disease variable prediction	1	4	4	
Heyne HO, 2020, Sci Transl Med	Predicting functional effects of missense variants in voltage-gated sodium and calcium channels	4	60	5	Orange

Bosselmann CM, 2022, Ebiomedicine	Predicting the functional effects of voltage-gated potassium channel missense variants with multi-task learning	1	5	5	
Siedhoff NE, 2021, J Chem Inf Model	Pypef-an integrated framework for data-driven protein engineering	2	13	6	Brown
Wittmund M, 2022, Acs Catal	Learning epistasis and residual coevolution patterns: current trends and future perspectives for advancing enzyme engineering	2	17	6	

3.5. Keywords

In this section, a keyword analysis was conducted on publications pertaining to the utilization of machine learning methodologies in variant effects prediction. The most salient keywords from the publications are presented as a word cloud in Figure 13 and a tree map according to the rates in Figure 14.

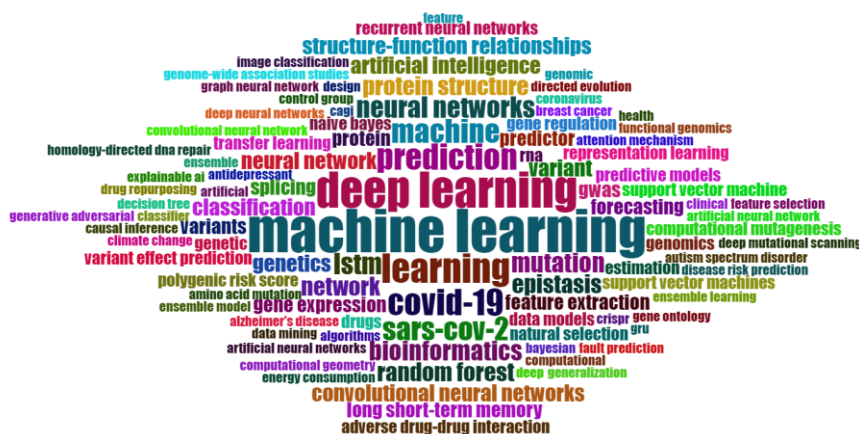


Figure 13. WordCloud

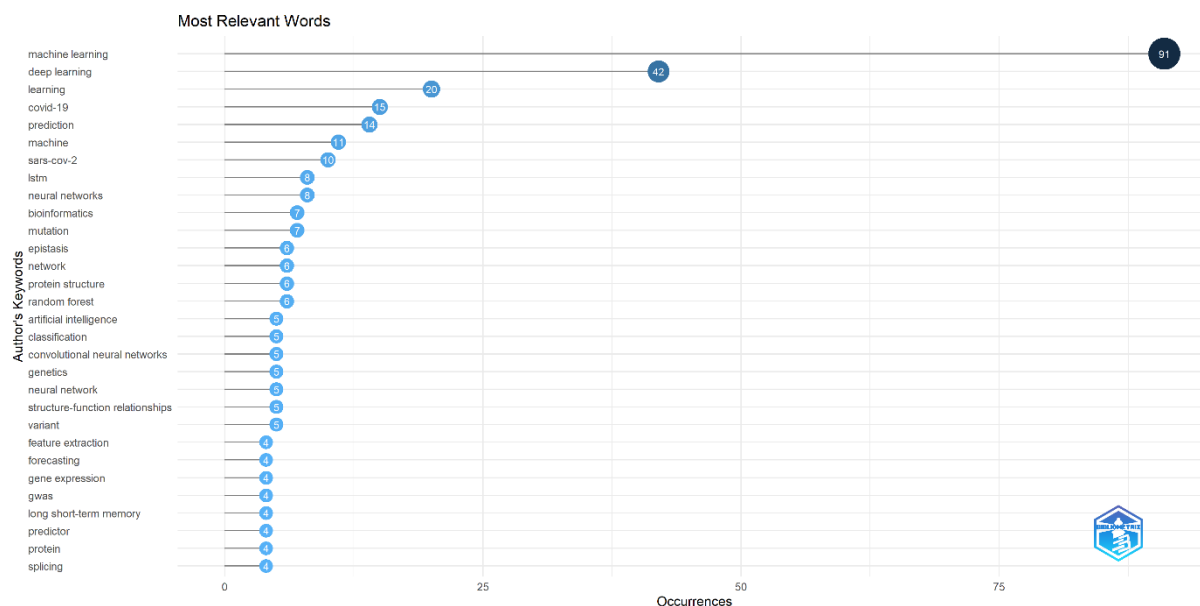


Figure 14. The frequencies of the 30 most frequently used keywords.

Figure 13 presents a visual representation of the 100 most frequently used keywords, as identified through the word cloud analysis. Figure 14 presents a graphical representation of the frequencies of the

30 most frequently used keywords. The most frequently used keywords in publications on the use of machine learning methods in variant effect prediction, as identified in the analyses presented in Figures 13 and 14, were "machine learning", "deep learning", "learning", "covid-19", "prediction", "machine" and "sars-cov-2". Figure 15 illustrates the cumulative distribution of keywords by year.

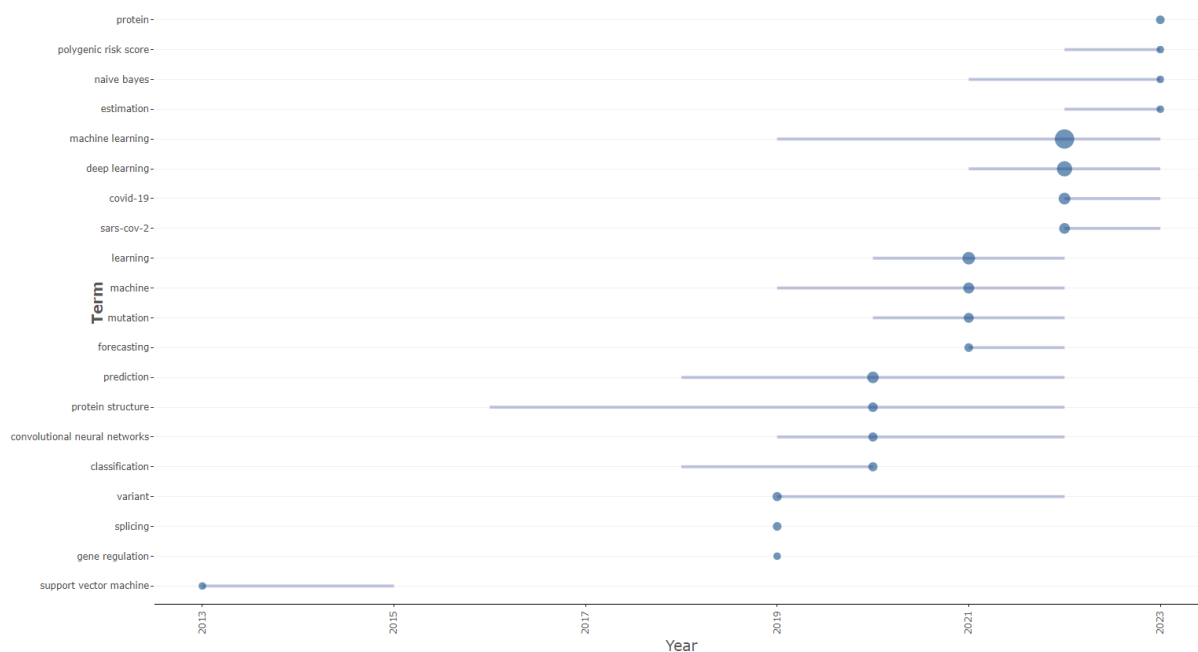


Figure 15. The cumulative distribution of keywords by year

Upon examination of the graph provided in Figure 15, it becomes evident that the most frequently utilized keywords over time are "protein structure", "prediction", "machine learning", "variant", "convolutional neural network", and "machine". In recent years, there has been a notable increase in the usage of specific keywords, including "deep learning", "naive bayes", "covid-19", "sars-cov-2," and "polygenic risk score". Thematic analysis of publications on the utilization of machine learning methodologies in variant effect prediction was conducted periodically, with the relationships between identified themes illustrated in Figure 16.

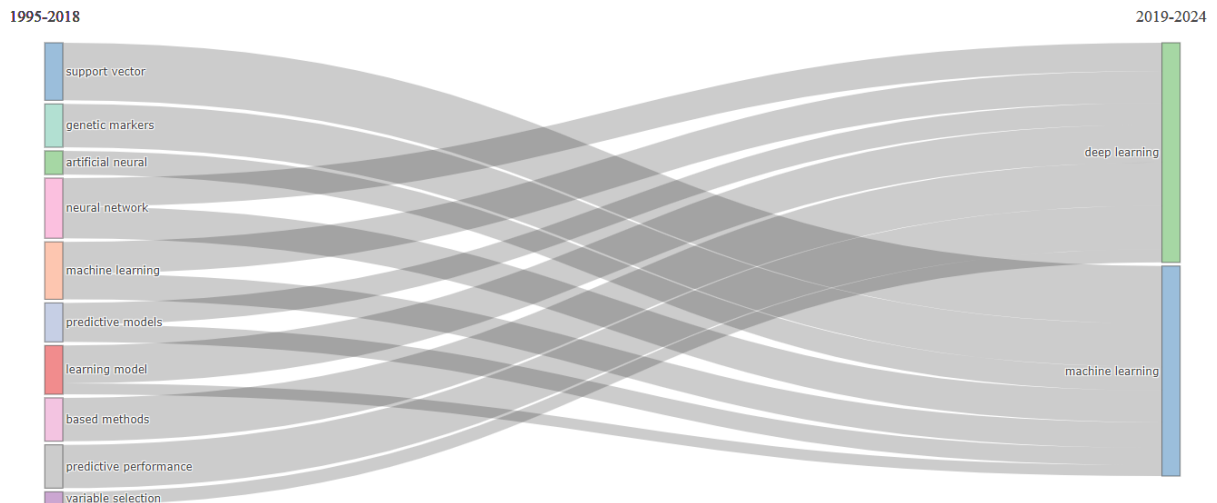


Figure 16. Thematic change

As illustrated in Figure 16, the themes between 1995 and 2018 were “support vector”, “genetic markers”, “artificial neural”, “neural network”, “machine learning”, “predictive models”, “learning model”, “based methods”, “predictive performance”, “variable selection”, and between 2019 and 2024 the themes were “deep learning” and “machine learning”.

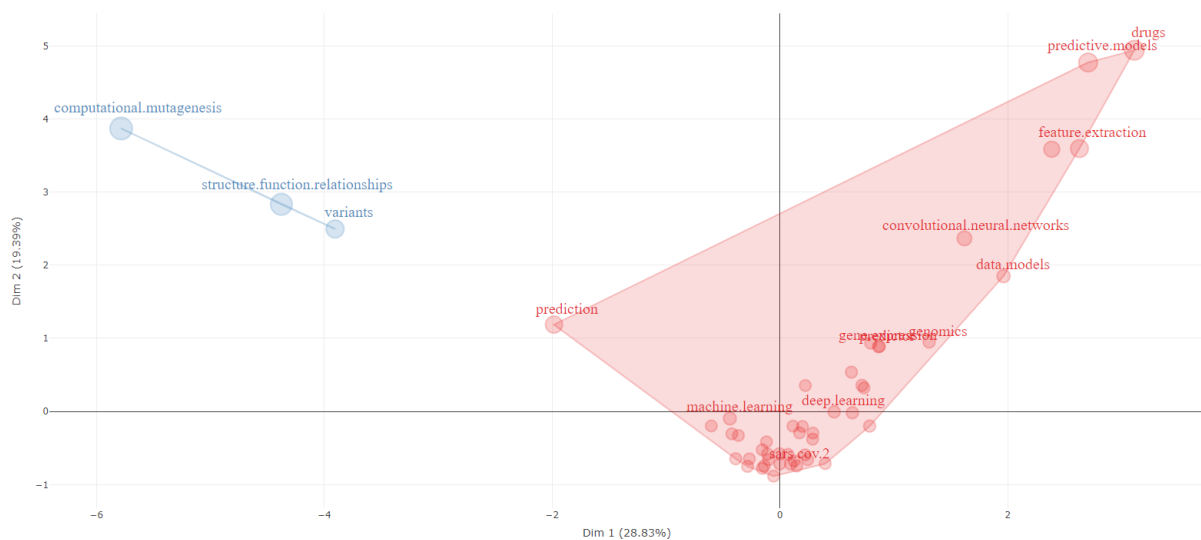


Figure 17. Factor analysis of the publications

The word pairs of keywords used together in the publications were subjected to factor analysis (Figure 17). Accordingly, the red cluster was found to have been researched on several topics, including machine learning, deep learning, Covid-19, Sars-cov-2, long short-term memory (Lstm), neural networks, bioinformatics, protein structure, and epistasis. In contrast, the blue cluster was found to have been researched on some topics, including computational mutagenesis, structure-function relationship, and

the variants. The keyword co-occurrence network employed in the aforementioned publications is presented in Figure 18.

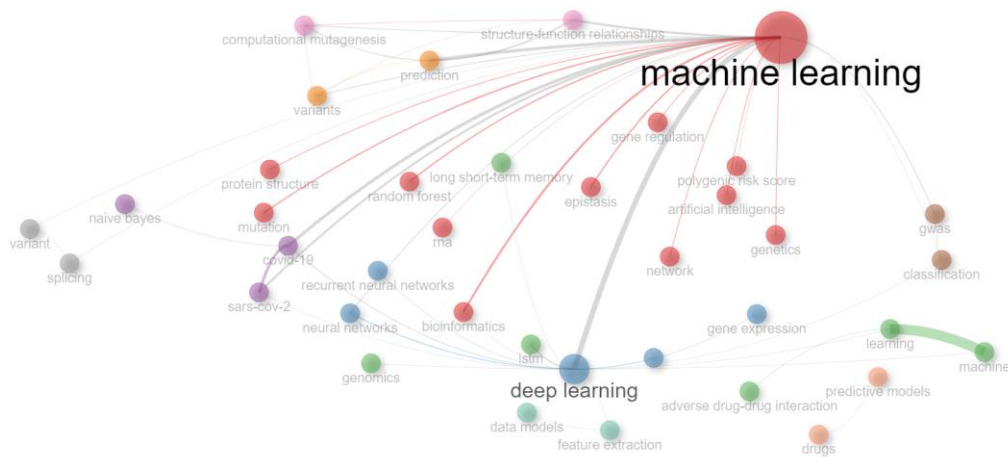


Figure 18. The keyword co-occurrence network of the publications

Upon examination of the keyword co-occurrence network presented in Figure 18, it becomes evident that the keywords utilized in publications on the application of machine learning methodologies in variant effect prediction predominantly constitute a keyword cluster with the concepts of "machine learning" and "deep learning." Moreover, the keywords most frequently occurring in conjunction with other keywords employed in these publications are also discernible within the network. Figure 19 presents a network analysis illustrating the three-field relationship between the keywords employed by the authors and the journals.

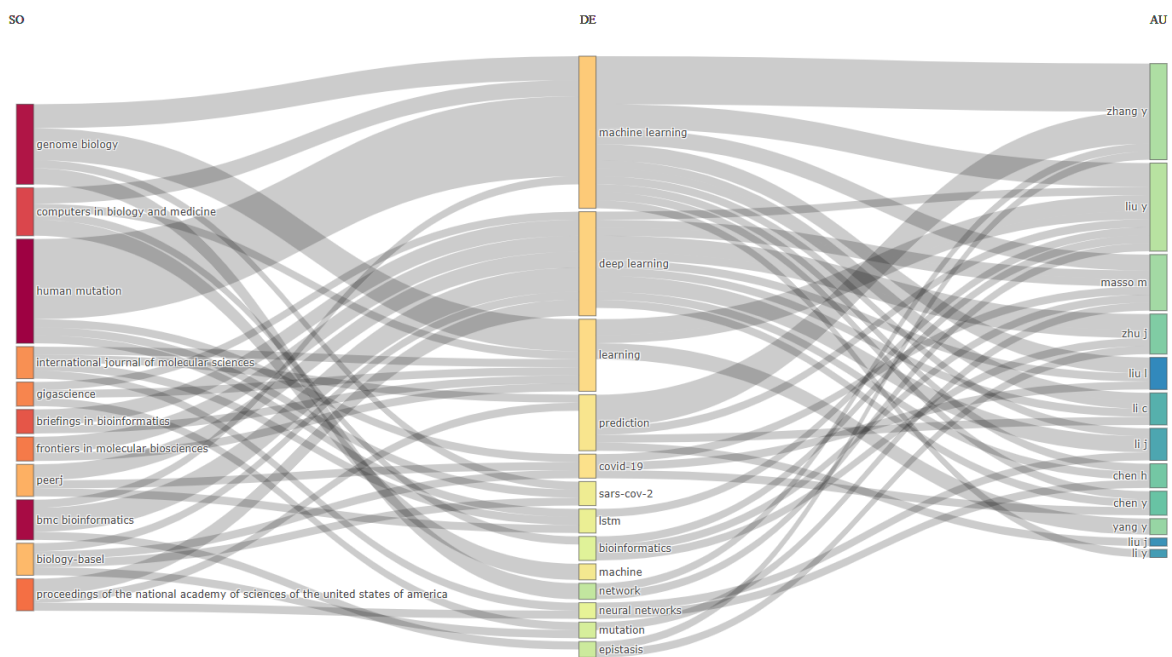


Figure 19. Three-field plot for journals, authors and keywords

Figure 19 illustrates the distribution of journals on the left, frequently used keywords in the middle, and authors on the right. It was observed that the most frequently used keywords, "machine learning" and "deep learning" were utilized by nearly all authors and journals represented in the graph. To gain a comprehensive understanding of the keywords employed in the publications, the abstract sections were also examined, and topics were identified (Figure 20).

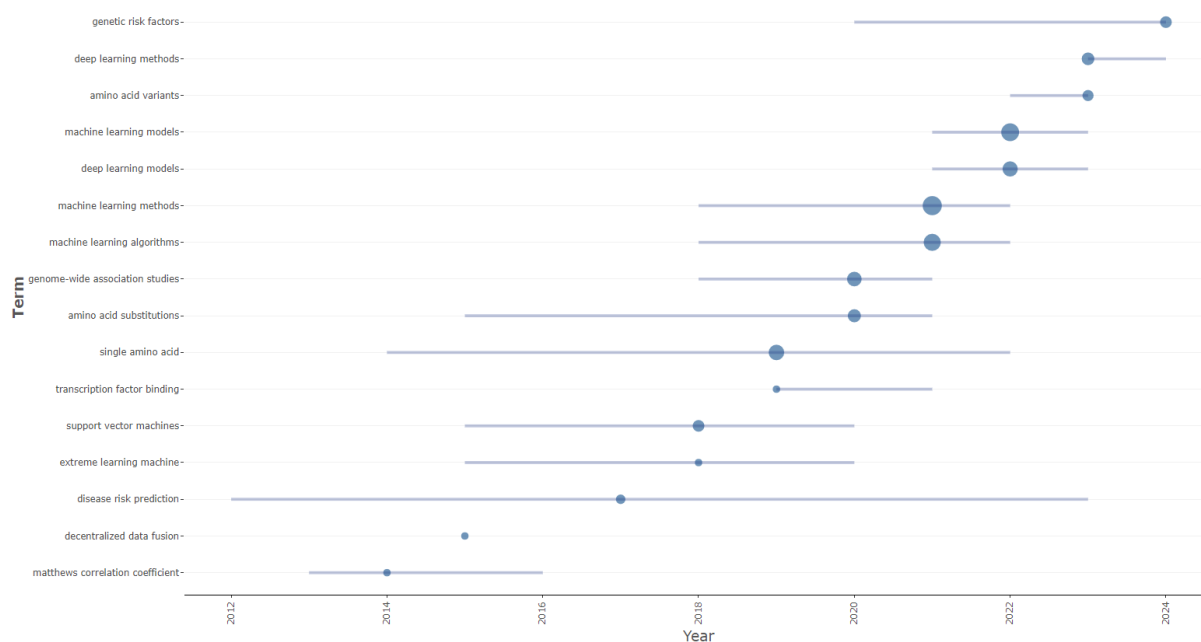


Figure 18. Trend topic for keywords used in the abstract section

In the graph presented in Figure 18, it was found that the trend topic in 2017 was “disease risk prediction”, in 2018 “support vector machine”, in 2019 “single amino acid”, in 2020 “amino acid substitutions” and “genome-wide association studies”, in 2021 “machine learning methods and algorithms”, in 2022 “deep learning” and “machine learning models”, in 2023 “amino acid variant” and “deep learning methods”, and in 2024 “genetic risk factors”.

4. Conclusion, Discussion and Limitations

While a comprehensive analysis of the utilisation of machine learning methodologies for the prediction of variant effect between 1995 and 2024 (up to March 2024) has been undertaken, this study is not without its limitations: (i) The research is limited to a time period from 1995 to March 2024. (ii) The database utilized in this study, which serves as a valuable resource for examining the application of machine learning techniques in variant effect prediction, is limited to WoSCC. The search conducted in PubMed and Scopus databases returned a smaller number of publications than the search conducted in WoSCC. However, in future studies, more comprehensive investigations can be conducted using databases such as Google Scholar, Science Direct, and Elsevier. (iii) This study included only research articles and review articles; other scientific publications were not analyzed. In future studies, the scope

can be expanded by including different scientific publications, such as book chapters, theses, papers, preprints, comments, and letters to the editor.

In this study, a bibliometric method was employed to characterise the scientific research conducted between 1995 and 2024 on the utilization of machine learning methods in variant effect prediction. This approach was undertaken to ascertain the status and focus of research on this subject, with a comprehensive analysis of the studies in question. Consequently, it has been observed that the number of publications in this field has increased at a steady rate over the past eight years. This growth demonstrates that machine learning methods have been increasingly applied in variant effect prediction in recent years. Similarly, the frequency of citations indicates that studies investigating the use of machine learning methods in variant effect prediction are rapidly increasing.

A review of the distribution of publications by country reveals that the United States has the highest total publication volume and the highest total citation volume. It can thus be concluded that the United States plays a pivotal role in the research on the utilisation of machine learning techniques in the domain of variant effect prediction, having made substantial contributions to this field. A review of international collaboration reveals that the United States engages in joint research with China, Germany, England, and Australia. In terms of publishing institutions, it is evident that eight of the top ten most productive institutions are located in the United States, with the remaining two situated in Germany. An analysis of the citation numbers of countries revealed that institutions in the United States had significantly higher citations than other countries. Consequently, it can be concluded that the United States has a prominent and extensive presence in this field, characterised by a substantial publication volume, a considerable number of citations, and a notable level of international collaboration.

A review of the literature revealed that the majority of publications on the use of machine learning methods in variant effect prediction were found in the *Human Mutation* journal, while the *Nucleic Acids Research* journal was the most frequently cited. An analysis of the authors' citation levels according to publication year and journal of publication reveals that the highest number of citations were made to an article by Zhou and Troyanskaya (2015), published in *Nature Methods*. A LCS and GLC analysis of between-author citations revealed the existence of a citation network comprising six clusters. In this clustering based on subject areas, the publication with the highest LCS value was that of Frazer et al. (2021), published in *Nature*. The highest GLC value was observed in the publication by Armenteros et al. (2017), in *Bioinformatics*. The aforementioned authors and their publications have made a substantial contribution to the field of machine learning-based variant effect prediction and are included in the list of the ten most productive authors and the ten most cited authors. It would be beneficial for researchers planning to study the use of machine learning methods in variant effect prediction to examine these authors and publications. Furthermore, it is important to be aware of these publications, as they have made significant contributions to the field.

According to the keyword analysis for publications on the use of machine learning methods in variant effect prediction, the prominent keywords in the publications are: "machine learning", "deep learning".

A review of the thematic evolution of the studies revealed that the themes of support vector, genetic markers, artificial neural network, neural network, machine learning, predictive models, learning models, based methods, predictive performance, and variable selection were examined between 1995 and 2018. After 2019, it was determined that the thematic focus shifted to machine learning and deep learning. It can be posited that the rationale behind this shift in focus is the advent of novel deep learning models, which have begun to emerge alongside traditional machine learning methods in the domain of variant effect prediction studies (Qi et al., 2021; Rentzsch et al., 2021). In studies employing traditional variant effect prediction models, the necessary information for determining the effect of a variant on the phenotype with the prediction model is evolutionary and structural data about the variant (Riesselman et al., 2018). However, in studies developing deep learning-based prediction models, inferences can be made about the variant using the raw data of the variant (Jiang et al., 2021). Therefore, it can be stated that machine learning and deep learning themes have gained importance in studies conducted since 2019.

A review of the abstracts of published works reveals that, in addition to machine learning and deep learning, the subjects most frequently investigated by researchers are "disease risk prediction," "single amino acid", "amino acid substitutions", "genome-wide association studies", "amino acid variant", and "genetic risk factors." It is anticipated that these identified topics will inform the direction of future research in this field. Furthermore, an analysis of the keywords used by the authors according to journals was also provided. Our findings demonstrate that the publications were shaped according to the concept of machine learning and deep learning. Machine learning, deep learning, Covid-19, Sars-cov-2, long short-term memory (Lstm), neural networks, bioinformatics, protein structure, and epistasis form a cluster; computational mutagenesis, structure function relationship, and the variants form a cluster and are interconnected. It can be understood from this that amino acid and genome studies are of great importance in variant effect prediction. Furthermore, the current pandemic has highlighted the necessity for variant effect prediction in this area. Finally, structural information of the variant is also an important research topic in variant effect prediction.

This study presents an overview of the various themes and publications that have emerged over time on the use of machine learning methods in variant effect prediction. This thematic shift has revealed that the most extensively researched areas by researchers, academics and universities are machine learning and deep learning. The topics investigated in this field include amino acid changes, mutations at the genome level, structural information of variants, covid-19 mutations and protein structure. In future studies, these research topics can be investigated with different methods based on machine learning and deep learning.

Note

This article was presented as an oral presentation at the 15th Medical Informatics Congress held in Trabzon on 30-31 May 2024.

Conflict of interest: No conflict of interest has been declared by the authors.

Authorship contributions: The contribution of the authors is equal.

References

- Almagro Armenteros JJ., Sønderby CK., Sønderby SK., Nielsen H., Winther O. DeepLoc: prediction of protein subcellular localization using deep learning. *Bioinformatics* 2017; 33(21): 3387-3395.
- Angermueller C., Pärnamaa T., Parts L., Stegle O. Deep learning for computational biology. *Molecular Systems Biology* 2016; 12(7): 878-894.
- Aria M., Cuccurullo C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 2017; 11(4): 959-975.
- Bromberg Y., Prabakaran R., Kabir A., Shehu A. Variant effect prediction in the age of machine learning. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 2024; 16(7): a041467.
- Donthu N., Kumar S., Mukherjee D., Pandey N., Lim WM. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *J. Bus. Res.* 2021; 133: 285-296.
- Fidanoğlu P., Belder N., Erdoğan B., İlk Ö., Rajabli F., Özdağ H. Genom projeleri 5N1H: Ne, nerede, ne zaman, nasıl, neden ve hangi popülasyonda? *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi* 2013; 71(1): 45-60.
- Frazer J., Notin P., Dias M., Gomez A., Min JK., Brock K., Gal Y., Marks DS. Disease variant prediction with deep generative models of evolutionary data. *Nature* 2021; 599(7883): 91-95.
- Horne J., Shukla D. Recent advances in machine learning variant effect prediction tools for protein engineering. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 2022; 61(19): 6235-6245.
- Ionita-Laza I., Mccallum K., Xu B., Buxbaum JD. A spectral approach integrating functional genomic annotations for coding and noncoding variants. *Nature Genetics* 2016; 48(2): 214–220.
- Jiang T., Fang L., Wang K. Deciphering the language of nature: A transformer-based language model for deleterious mutations in proteins. *The Innovation* 2021; 4(5).
- Li MX., Gui HS., Kwan JSH., Bao S.Y, Sham PC. A comprehensive framework for prioritizing variants in exome sequencing studies of Mendelian diseases. *Nucleic Acids Research* 2012; 40(7): e53.
- Livesey BJ., Marsh JA. Advancing variant effect prediction using protein language models. *Nature Genetics* 2023; 55(9): 1426-1427.
- Mahmood K, Jung CH., Philip G., Georgeson P., Chung J., Pope BJ., Park DJ. Variant effect prediction tools assessed using independent, functional assay-based datasets: Implications for discovery and diagnostics. *Human Genomics* 2017; 11: 1–8.
- Niroula A., Vihinen M. Variation interpretation predictors: Principles, types, performance, and choice. *Human Mutation* 2016; 37(6): 579–597.
- Niroula A., Vihinen M. How good are pathogenicity predictors in detecting benign variants? *PLoS Computational Biology* 2019; 15: 1–17.

- Qi H., Zhang H., Zhao Y., Chen C., Long JJ., Chung WK., Guan Y., Shen Y. MVP predicts the pathogenicity of missense variants by deep learning. *Nature Communications* 2021; 12(1): 510.
- Qiu J., Nechaev D., Rost B. Protein-protein and protein-nucleic acid binding residues are important for common and rare sequence variants in human. *BMC Bioinformatics* 2020; 21: 452.
- Qu H., Fang X. A brief review on the human encyclopedia of DNA elements (ENCODE) project. *Genomics Proteomics Bioinformatics* 2013; 11(3): 135–141.
- Rentzsch P., Schubach M., Shendure J., Kircher M. CADD-Splice-improving genome-wide variant effect prediction using deep learning-derived splice scores. *Genome Medicine* 2021; 13: 1-12.
- Riesselman AJ., Ingraham JB., Marks DS. Deep generative models of genetic variation capture the effects of mutations. *Nature Methods* 2018; 15(10): 816-822.
- Tang H., Thomas PD. Tools for predicting the functional impact of nonsynonymous genetic variation. *Genetics* 2016; 203(2): 635–647.
- The ENCODE Project Consortium. Identification and analysis of functional elements in 1% of the human genome by the ENCODE pilot project. *Nature* 2007; 447: 799-816.
- The International HapMap Consortium. The international HapMap project. *Nature* 2003; 426: 789-796.
- The 1000 Genomes Project Consortium. A map of human genome variation from population scale sequencing. *Nature* 2010; 467: 1061-1073.
- Xu F., Guo G., Zhu F., Tan X., Fan L. Protein deep profile and model predictions for identifying the causal genes of male infertility based on deep learning. *Information Fusion* 2021; 75: 70-89.
- Zhou J., Troyanskaya OG. Predicting effects of noncoding variants with deep learning–based sequence model. *Nature Methods* 2015; 12(10): 931-934.

Duvar Dolgu Malzemelerinin İnşaat Sektöründeki Pazar Hacminin Tuğla, Briket ve Gaz Beton Özelinde Analizi

Yusuf EŞİDİR^{1*}, Arzuhan Burcu GÜLTEKİN²

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği (Teknoloji Fakültesi) Anabilim Dalı, 06560, Ankara

² Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570, Ankara

¹ <https://orcid.org/0000-0003-0221-729X>

² <https://orcid.org/0000-0003-1246-6468>

*Sorumlu yazar: yusufesidir@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.05.2024

Kabul tarihi: 20.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Tuğla

Briket

Gaz beton

Duvar dolgu malzemeleri

Yapı malzemeleri

ÖZ

Tuğla, briket ve gaz beton, Türkiye’de duvar yapımında yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir. Çimento içeriklerinden dolayı briket ve gaz beton, tuğlaya göre daha fazla sera gazı emisyonuna sebep olmaktadır. Ancak son yıllarda tuğlanın inşaat sektöründeki payı azalırken briket ve gaz betonun artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, tuğla, briket ve gaz betonun imalat sanayi içindeki üretim ve satış miktarları ile üretim ve satış değerlerinin belirlenmesi ve karşılaştırmalı olarak inşaat sektöründeki pazar hacimlerinin analiz edilmesidir. Söz konusu amaç çerçevesinde, Türkiye İstatistik Kurumunun Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri veri tabanı kullanılarak tuğla, briket ve gaz betonun üretim ve satış miktarları ile değerlerinin değişimleri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, son yıllarda tuğlanın pazar hacminde azalma olduğu, bu azalmanın ise brikete artış olarak yansıdığı bulgusuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, briket ve gaz betona göre daha az sera gazı emisyonuna sebep olan tuğlanın sektördeki payını arttırmaya yönelik öneriler sunulmuştur. Bu çalışmanın, tuğlanın inşaat sektöründeki pazar hacmi kaybının daha sürdürülebilir üretim teknikleri geliştirilerek artırılması ve sektörde konuya ilişkin farkındalık kazandırılması açısından katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Analysis of the Market Volume of Wall Filling Materials in the Construction Industry for Brick, Briquette and Aerated Concrete

Research Article

Article History:

Received: 22.05.2024

Accepted: 20.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Brick

Briquette

Aerated concrete

Wall filling materials

Construction materials

ABSTRACT

Brick, briquette and aerated concrete are construction materials commonly used for construction of walls in Türkiye. Briquettes and aerated concrete cause more greenhouse gas emissions than bricks, due to their cement content. However, in recent years, the share of brick in the construction sector has been decreasing while the share of briquette and aerated concrete has been increasing. The aim of this study is to determine the production and sales quantities and production and sales values of brick, briquette and aerated concrete in the manufacturing industry and to analyze their market volumes in the construction sector comparatively. Within the framework of this aim, the changes in the production and sales quantities and values of brick, briquette and aerated concrete were analyzed using the Annual Industrial Product (PRODCOM) Statistics database of the Turkish Statistical Institute. As a result of the analysis, it was found that there has been a decrease in the market volume of brick in recent years and this decrease has been reflected as an increase in the market volume of briquette. As a result, recommendations were made to increase the share of brick in the construction sector, which causes less greenhouse gas emissions than briquettes and aerated concrete. This study

is expected to contribute to increasing the loss of market volume of brick in the construction sector by developing more sustainable production techniques and raising awareness in the sector.

To Cite: Eşidir Y., Gültekin AB. Duvar Dolgu Malzemelerinin İnşaat Sektöründeki Pazar Hacminin Tuğla, Briket ve Gaz Beton Özelinde Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 652-667.

1. Giriş

Tuğla, briket ve gaz beton, Türkiye’de duvar yapımında yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerindendir. Tuğla, doğada hazır halde bulunan hammaddelerin (kil ve su) kullanılması ile elde edilen bir malzeme olduğundan briket ve gaz betona göre daha çevre dostu olduğu söylenebilir. Briket ve gaz beton üretiminde kullanılan çimento, bu yapı malzemelerinin üretimini nispeten daha karbon yoğun yapmaktadır. Yapı malzemelerinin üretim evresindeki çevresel etkilerin belirlenmesinde Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) metodolojisi son yıllarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. YDD metodolojisi “bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdi ve çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi” olarak tanımlanmaktadır (ISO 14040, ISO 14044). YDD metodolojisi kullanılarak hazırlanan Çevresel Ürün Beyanı (EPD) ise “aynı işlevi yerine getiren ürünler arasında karşılaştırma yapılmasını sağlamak için bir ürünün yaşam döngüsüne ilişkin çevresel bilgileri ölçüldüğü” belgeyi ifade etmektedir (ISO 14025). YDD metodolojisinin aşamalarından biri de ürünün üretim sürecindeki malzeme ve enerji girdileri ile üretim evrelerinin tanımlandığı “Yaşam Döngüsü Envanteri” aşamasıdır. Bu aşamada ürünün içeriği ve üretim yöntemine ilişkin bilgiler de yer almaktadır. Tuğla, briket ve gaz betonun çevresel etkilerinin ortaya konduğu EPD’lerde üretim süreci ve üretimdeki girdi-çıktılar incelenerek bu yapı malzemelerinin içeriğinde bulunan hammaddeler ve üretim yöntemlerine ilişkin bilgiler derlenmiştir. Tuğla ile ilgili EPD’lerde (The Brick Development Association, 2019; The Brick Industry Association, 2020; Kingscourt Brick, 2021, Saray Tuğla, 2022; Shaw Brick, 2022) tuğla yapımında %95-99 oranında kil ve çok az miktarlarda kalsit, baryum, manganez, kromoks gibi katkı maddeleri kullanıldığı belirtilmiştir. Bazı fabrikalarda kil ile killi şistin karıştırılarak kullanıldığı belirtilmiştir. Killi şist, kil minerallerinin oluşturduğu tortul kayaçlardır (Neser, 2023). Dolayısıyla killi şist karıştırılan tuğla da içerik bakımından killi olan tuğladan çok farklı değildir. Şeker kamışı, kum, atık tuğla kırıntılarının da bazı tuğlaların üretiminde içeriğe dâhil edildiği görülmüştür.

Briket, uluslararası literatürde kullanılan bir yapı malzemesi türü değildir. Türkiye’de briket olarak ifade edilen ürün literatürde “prefabrik beton blok” olarak geçmektedir. Briket, kum ve çimentonun birleştirilmesiyle elde edilmiş harç ya da bu harcı içeren birtakım agregaların sıkıştırılmış blok hali olarak tanımlanmaktadır (Globmac, 2024). Üretimde agrega olarak ponza kullanıldığı durumda bu malzeme “Bims” olarak adlandırılmaktadır (BlokBims, 2024). Yani Türkiye’de “briket” olarak bilinen ancak literatürde “prefabrik beton blok” olarak tanımlanan malzeme çimento, agrega ve suyun karıştırılması ile elde edilen, bazen katkı maddelerinin de içeriğine dâhil edildiği standart betonun dolgu duvar yapımına uygun olarak şekil verilmiş halidir. Briket ile ilgili EPD’ler (The United Basalt Products Limited, 2020; Prefabricados Etxeberria, 2021; Envirocon, 2022) de bu durumu doğrular niteliktedir.

Gazbeton ile ilgili EPD'ler incelendiğinde (Gaziantep Ytong, 2020; Türk Gazbeton, 2024) üretiminde kuvarsit veya silisli kum, çimento, alçıtaşı, sönmemiş kireç, alüminyum tozu kullanıldığı görülmektedir. Gazbeton üretiminde kullanılan malzemeler ve üretim süreci tuğla ve brikete göre daha standardizedir. Farklı varsayımlar ve koşullar altında yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi kullanarak tuğla, briket ve gaz beton kullanımını kıyaslayan çalışmalara literatürde rastlanmaktadır. Pons ve ark. (2018) gabyon duvar, yağma duvar, betonarme ağırlık duvarı ve betonarme konsol duvar olmak üzere dört farklı duvar tipini Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanarak kıyaslamıştır. Yapılan kıyaslama sonucunda içinde beton barındıran duvarların çevresel etkilerinin daha yüksek düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gabyon duvarların yağma duvarlara göre çok az miktarda daha az çevresel etkiye sebep olduğu bulunmuştur. Betonarme duvarların yaşam döngüsü sonunda geri dönüştürülerek tekrar yapı veya dolgu malzemesi olarak kullanılmasının, betonarme ağırlık duvarlarında %17,5-33,8 ve betonarme konsol duvarlarda %9,6-12,4 oranlarında çevresel etkileri azaltıcı tesire sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Maia de Souza ve ark. (2016) Brezilya'da yaygın olarak kullanılan üç farklı duvar tipini Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanarak incelemiştir. Çalışmada, seramik blok, beton blok ve yerinde dökme betonarme duvar tipleri kıyaslanmıştır. Beton üretim sürecinin, çevresel etkilerin artmasında oldukça etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Zastrow ve ark. (2017) İspanya'da bulunan otuz istinat duvarını Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanarak incelemiştir. Duvarlarda beton malzeme kullanımının çevresel etkiyi artıran en önemli faktör olduğu saptanmıştır. Duvar yüksekliğinin artması ile birlikte mekanik dayanıklılığın sağlanabilmesi için daha birim hacimde fazla çelik kullanımına gereksinim duyulduğu ve bunun da çevresel etkiyi artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının çevresel etkiyi önemli ölçüde azaltıcı etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Literatürde yer alan bilgiler, yapı malzemelerinde kullanılan çimento miktarının artmasıyla olumsuz çevresel etkilerin de arttığını göstermektedir. Duvar yapımında yaygın olarak kullanılan üç farklı yapı malzemesi olan tuğla, briket ve gaz beton içinden tuğlanın üretiminde çimento kullanımına gerek duyulmamaktadır. Bu sebeple, briket ve gaz betona kıyasla daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi olduğu görülmektedir. Bu üç duvar malzemesinin inşaat sektörü içinde gördüğü arz ve talep dengesindeki değişime bağlı olarak üretim miktarı, kârlılığı, sektörde tercih edilme durumu ve üreticilerin sektöre girme isteği gibi hususlar değişkenlik göstermektedir.

Türkiye'nin sanayide yeşil dönüşümü gerçekleştirerek sera gazı emisyonlarını azaltması ve 2053 net sıfır emisyon hedefinin (UNFCCC, 2024) gerçekleştirilmesi için yapı malzemelerinin üretiminde ve kullanımında çevre dostu yapı malzemelerine öncelik sağlanacak şekilde yapı malzemeleri üretim sektörlerini yönlendirmesi ve desteklemesi gerektiği düşünülmektedir. Bunun yapılabilmesi için ise aynı işleve sahip yapı bileşenlerinin farklı yapı malzemeleri ile üretiminin ekonomik büyüklükler açısından kıyaslanarak ortaya konması, üretim ve tüketim trendinin değişimini vermesi ve inşaat sektörünün çevre

dostu yapı malzemeleri lehine şekillendirilmesine olanak sağlaması bakımından analiz edilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, tuğla, briket ve gaz betonun imalat sanayi içindeki üretim ve satış miktarlarının ve değerlerinin belirlenmesi ve karşılaştırmalı olarak inşaat sektöründeki pazar hacimlerinin analiz edilmesidir. Bu çalışma kapsamında tuğla, briket ve gaz betonun 2005-2022 yılları arasında inşaat sektöründeki üretim miktarı, üretimin para cinsinden değeri, satış miktarı, satışların para cinsinden değeri ve üretime dâhil olan girişimci sayısı kıyaslanmıştır. Böylece, tuğla, briket ve gaz betonun sektörel büyüklükler açısından değişimi analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yıllık olarak yayımlanan “Yıllık Sanayi Ürün İstatistikleri” verisi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, son yıllarda inşaat sektöründe tuğla üretiminin ve kullanımının azaldığı, bu azalmanın briket yönünde bir artışa evrildiği bulgusuna ulaşılmıştır. Buna rağmen inşaat sektöründe briket ve gaz betona göre tuğlanın hala en çok kullanılan duvar dolgu malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Tuğlanın sektördeki pazar hacmi kaybının telafi edilmesi için tuğlanın çevre dostu bir yapı malzemesi olduğunun daha fazla vurgulanması, sektörde bu konuda farkındalığın artırılması, tuğlanın emisyon değerlerinin yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi ile sayısal ve objektif olarak ilgili paydaşlara sunulması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

Tuğlanın üretim süreci; hammaddesi olan kilin maden ocağından çıkarılması, tuğla fabrikasına taşınarak depolanması, hammaddenin hazırlanması, şekillendirilmesi, kurutulması, pişirilmesi ve paketlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Tuğla yapımı için maden ocağından çıkan killi toprak, içinde bulunan taş, bitki ve diğer yabancı malzemelerden arındırılarak ve öğütülerek homojen bir hale getirilmektedir. Homojen hale gelen malzeme ezilerek ve su ile karıştırılarak yoğrulmaktadır. Karıştırma ve yoğurma işlemleri, iyi bir plastik özellik elde etmek için kütlenin homojenleşmesini sağlamaktadır. Hazırlanan kil karışımı daha fazla homojenleşmenin sağlanması amacıyla büyük hacimli tesislerde depolanarak dinlendirilmektedir. Dinlendirmenin amacı, gerekli incelikte toz haline getirilmiş hammaddelerin daha fazla gevşemesinin ve homojen su dağılımının sağlanmasıdır. Bu işlem, tuğlada çatlakların ve mikro çatlakların oluşumunu engellenmesi için yapılmaktadır. Plastik kıvama gelmiş, homojen olan kil toprak kalıplama, presleme ya da ekstrüzyon yöntemlerinden biri kullanılarak şekillendirilmektedir. Kile şekil verildikten sonra bünyesinde bulunan su ve nemden arındırılarak sertleşmesi için doğal veya suni kurutma işlemi yapılmaktadır. Kurutulan tuğlalar fırınlarda 900-1000 °C sıcaklıkta pişirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir (Almeida ve ark., 2010; Kingscourt Brick, 2021; Saray Tuğla, 2022; Özdemir Toprak Sanayi, 2024).

Briketin üretim süreci; agrega, su, çimento ve gerekli durumlarda katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilen betonun kalıplara dökülerek şekil verilmesi, kürlenmesi ve paketlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Gerekli miktarda kum, çakıl (hafif agrega kullanılacaksa ponza taşı) ve çimento karıştırılarak mikserde su ve diğer katkı maddelerinin eklenmesi ile beton harcı elde edilmektedir. Beton

harcı blok makinelerine aktararak burada sıkıştırılmaktadır. Betondaki hava boşluklarının alınması için vibrasyon uygulanmaktadır. Şekil verilen, sıkıştırılan ve havası alınan beton bloklar kürlenerek mukavemet kazanması için kür odalarına aktarılmaktadır. Daha sonra paketlenerek nakliyyeye hazır hale getirilmektedir (Prefabricados Etxeberria, 2021; Roadstone, 2022; Globmac, 2024).

Gazbetonun üretim süreci; kuvarsit, alçı taşı, çimento, kireç karışımına su ve alüminyum tozu eklenerek karıştırılması, alüminyumun alkali ortamda reaksiyona girmesi, otoklavlama, kürlenmesi ve paketlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Betonun içindeki alüminyum alkali ortamda reaksiyona girerek hidrojen gazı açığa çıkarmakta, bu gazın genişmesi ile betonun içinde kabarcıklar oluşarak süngerimsi bir yapı oluşmaktadır. Daha sonra bu karışım kalıplara dökülerek buhar basıncı ve sıcaklık altında otoklav ünitelerinde kürlenerek sert bloklar haline getirilmektedir (Gaziantep Ytong, 2020; Türk Gazbeton, 2024).

3. Veri ve Metodoloji

İnşaat sektöründe duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan tuğla, briket ve gaz betonun sektörel gelişiminin belirlenmesi için bu çalışmada, TÜİK'in "Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri" veri tabanından yararlanılmıştır. Veri tabanında bulunan tuğla, briket ve gaz beton üretimine dair veriler, çalışmanın amacı çerçevesinde derlenerek kıyaslanmış ve sektörel büyüklük açısından değişimleri analiz edilmiştir.

PRODCOM istatistikleri, madencilik ve taş ocakçılığı ile imalat sanayinde üretilen ürünlerin ve birtakım sınaî hizmetlerin, Türkiye düzeyinde yıllık periyotta miktarını ve değerini grafikler aracılığıyla ortaya koymaktadır (TÜİK, 2022). Bu grafiklerde ürünler, PRODTR adı verilen sınıflandırma sistemi ile sınıflandırılmaktadır. PRODTR, Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat) tarafından geliştirilmiş olan ve Avrupa Birliği ülkelerinde mamul malların üretimi ile ilgili istatistikleri içeren PRODCOM sistemini esas almaktadır. PRODTR, PRODCOM'un Türkiye'ye uyarlanmış halidir. PRODCOM, Fransızca "PRODUCTION COMMUNAUTAIRE" ve İngilizce "Community Production" ifadelerinin kısaltmasıdır. "Toplum üretimi" anlamına gelmektedir. PRODCOM, Avrupa Birliği'nde Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması anlamına gelen NACE'nin ekonomik faaliyet verilerini kapsamaktadır. Bu veriler, NACE'nin B, C ve E bölümlerine atıfta bulunan madencilik ve taş ocakçılığı, imalat ve malzeme geri kazanımı ile ilgilidir (Eurostat, 2023). NACE sınıflandırmasının tüm Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde aynı şekilde kullanılması için mevzuat düzenlenmesi de mevcuttur. NACE kapsamındaki tüm ekonomik faaliyetler kodlar ile birlikte Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. NACE kodlarının genel yapısı (Eurostat, 2008)

Ekonomik Faaliyetler		Ekonomik Faaliyetler	
A	Tarım, ormancılık ve balıkçılık	L	Gayrimenkul faaliyetleri
B	Madencilik ve taş ocaklığı	M	Mesleki, bilimsel ve teknik faaliyetler
C	İmalat	N	İdari ve destek hizmet faaliyetleri
D	Elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtımı	O	Kamu yönetimi ve savunma; zorunlu sosyal güvenlik
E	Su temini; kanalizasyon, atık yönetimi ve iyileştirme faaliyetleri	P	Eğitim
F	İnşaat	Q	İnsan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri
G	Toptan ve perakende ticaret; motorlu kara taşıtlarının ve motosikletlerin onarımı	R	Kültür, sanat, eğlence, dinlence ve spor
H	Ulaştırma ve depolama	S	Diğer hizmet faaliyetleri
I	Konaklama ve yiyecek hizmeti faaliyetleri	T	Hane halklarının işveren olarak faaliyetleri; hane halklarının kendi kullanımları için ayrıştırılmamış gıda ve hizmet üretim faaliyetleri
J	Bilgi ve iletişim	U	Ülke dışı kurum ve kuruluşların faaliyetleri
K	Finans ve sigorta faaliyetleri		

NACE kodları kapsamında tuğla, briket ve gaz beton üretimi, Tablo 1’de “C” ile belirtilen imalat ekonomik faaliyetlerinin altında 10-33 kodları arasında sınıflandırılan kısımda yer almaktadır. 10-33 arasında yer alan sınıflar, Tablo 2’de verilmiştir. Tuğla, briket ve gaz beton mineral esaslı ürünlerdir, metalik özellikte değildirler. Bu sebeple, tuğla, briket ve gaz beton üretimi Tablo 2’de verilen sınıflardan 23 kodlu “diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” kapsamına girmektedir. Tuğla üretiminde hammadde olarak kil; briket üretiminde kum, ponza taşı ve çimento; gaz beton üretiminde ise kuvarsit, kireçtaşı ve çimento kullanılmaktadır. Dolayısıyla metalik olmayan ve mineral bazlı olan bu üç duvar dolgu malzemesinin üretimi de 23 kodlu NACE sınıfı altında yer almaktadır.

Tablo 2. NACE C-İmalat başlığının sınıfları (Eurostat, 2008)

Kod	Ekonomik Faaliyet	Kod	Ekonomik Faaliyet
10	Gıda ürünlerinin imalatı	22	Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı
11	İçeceklerin imalatı	23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı
12	Tütün ürünleri imalatı	24	Ana metal sanayii
13	Tekstil ürünleri imalatı	25	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (Makine ve teçhizat hariç)
14	Giyim eşyalarının imalatı	26	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı
15	Deri ve ilgili ürünlerin imalatı	27	Elektrikli teçhizat imalatı
16	Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı (mobilya hariç); saz, saman ve benzeri malzemelerden örülerek eşyaların imalatı	28	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı
17	Kâğıt ve kâğıt ürünlerinin imalatı	29	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı
18	Kayıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	30	Diğer ulaşım araçlarının imalatı
19	Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı	31	Mobilya imalatı
20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	32	Diğer imalatlar
21	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı	33	Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı

Tablo 3’te, NACE C.23 diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sınıfının alt sınıfları verilmiştir. Tabloya göre tuğla 3 numaralı sınıf olan “kilden inşaat malzemesi” sınıfına, briket ve gaz beton 6

numaralı sınıf olan “betondan, çimentodan ve alçıdan eşyalar” sınıfına girmektedir. Bu sınıfların bir alt sınıfları incelendiğinde tuğla için en uygun sınıfın “pişmiş kilden tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri imalatı” olduğu, briket ve gaz beton için “inşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı” sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. NACE C.23 sınıfının alt sınıfları (Eurostat, 2008)

Alt Sınıf Kodları	C.23 Sınıfının Alt Sınıfları
23	<i>Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı</i>
23.1	Cam ve cam ürünleri
23.2	Ateşe dayanıklı ürünler
23.3	Kilden inşaat malzemesi
23.32	Pişmiş kilden tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri imalatı
23.4	Diğer porselen ve seramik ürünler
23.5	Çimento, kireç ve alçı
23.6	Betondan, çimentodan ve alçıdan eşyalar
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı
23.7	Taş (kesilmiş, şekil verilmiş ve tamamlanmış)
23.9	Metalik olmayan diğer mineral ürünler

NACE C.23.32 pişmiş kilden tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri imalatı ve NACE 23.61 inşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı sınıflarında yer alan tuğla, briket ve gaz beton imalatı NACE kodlarını esas alan PRODCOM ve PRODCOM’dan uyarlanan PRODTR sınıflandırmalarında daha ayrıntılı olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma Tablo 4’te verilmiştir.

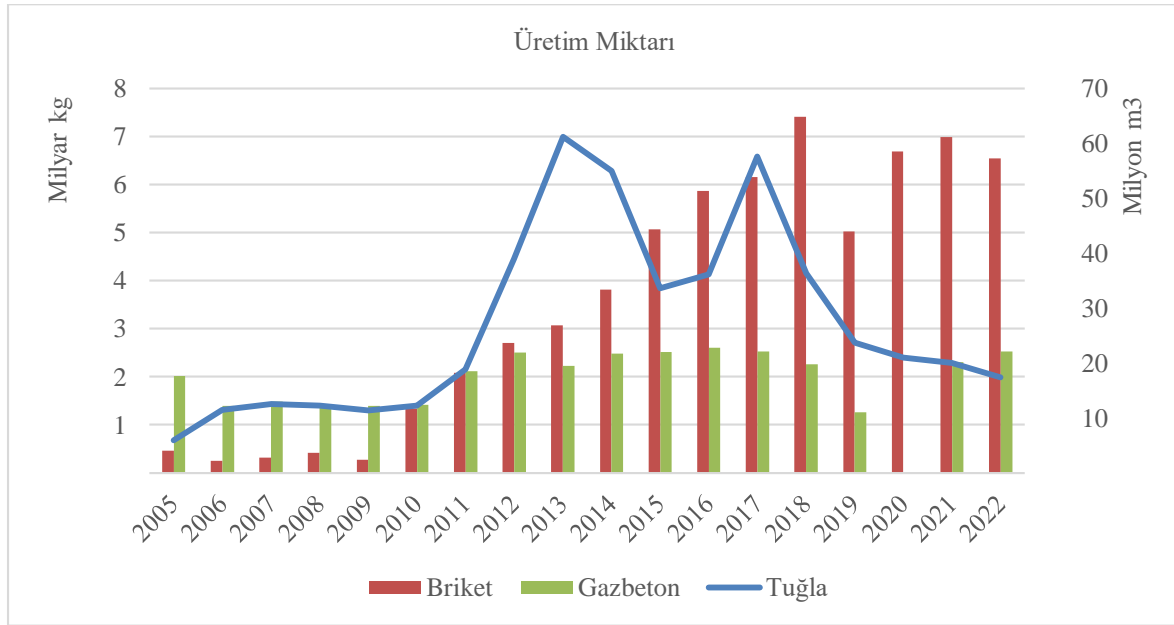
Tablo 4. PRODCOM ve PRODTR’ye göre tuğla, briket ve gaz beton imalatı sınıflandırması (TÜİK, 2024)

Duvar Dolgu Malzemesi		NACE Kodu	Birimi
Tuğla	İnşaat tuğlaları, ateşe dayanıklı (refrakter) olmayan kilden (silisli fosil unlarından veya silisli topraklardan olanlar hariç)	23.32.11.10.00	m ³
Briket	İnşaat blokları ve tuğlaları, çimentodan, betondan veya suni taştan	23.61.11.30.00	kg
Gaz beton	Gaz beton yapı elemanları (kireç taşından olanlar dahil) (kirişler, kolonlar, panolar, döşeme elemanları vb.)	23.61.12.00.04	kg

Tuğla ve gaz beton üretimi Tablo 4’te yer alan sınıflandırmalarda doğrudan ifade edilmiş olmasına rağmen, briket tam olarak tanımlanmamıştır. Ancak tanımda yer alan çimento, beton suni taştan imal edilen inşaat tuğlaları ve bloklarının Türkiye’deki karşılığı genellikle briket veya BİMS blok olarak ifade edilen yapı malzemesidir. PRODCOM ve PRODTR sınıflandırması briket için bire bir uygun olmasa da üretimin çoğunluğuna tekabül eden tanımları karşılayacağı varsayılmıştır. Bu varsayımlar altında tuğla, briket ve gaz beton üretimine ilişkin veriler karşılaştırmalı analiz yöntemi ile kıyaslanmıştır.

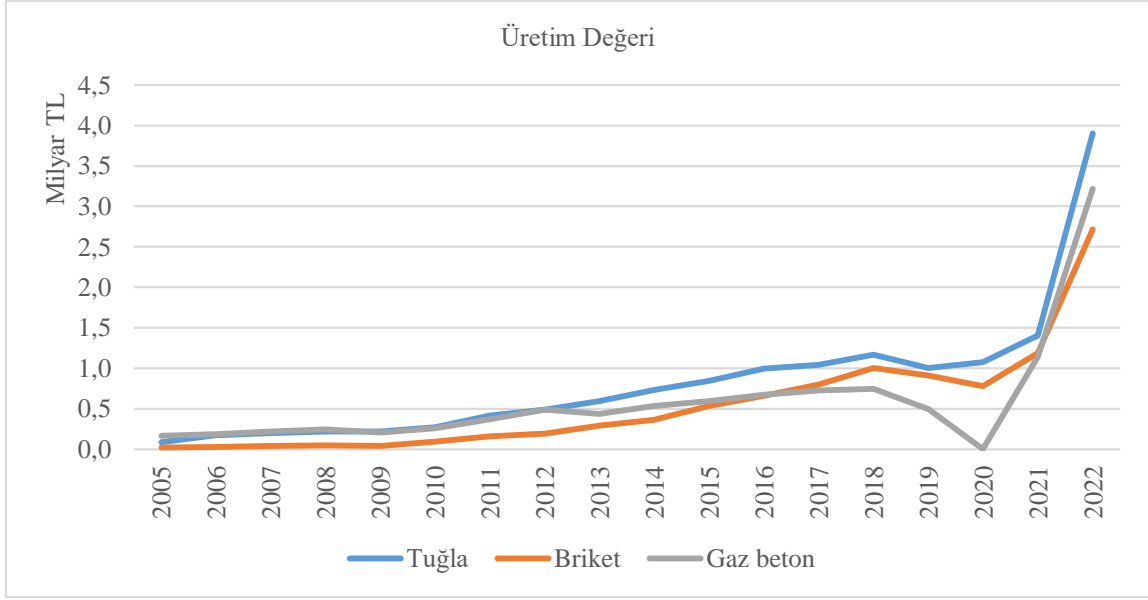
4. Bulgular ve Tartışma

Şekil 1’de yer alan grafikte, yıllara göre tuğla, briket ve gaz betonun üretim miktarları verilmiştir. Tuğla üretimi m³ cinsinden, briket ve gaz beton üretimi kg cinsinden verilmiştir. Grafiğe göre tuğla üretimi 2013 ve 2017 yıllarında tepe noktasına ulaşmıştır. 2022 yılında Türkiye’de yaklaşık 20 milyon m³ tuğla üretilmiştir. 2010 yılına kadar gaz beton kullanımı briketle göre oldukça fazla olmasına rağmen, 2012 yılında itibaren briket kullanımını gaz betonu geçmiştir, 2022 yılında briket üretimi gaz betonun yaklaşık 2,6 katı olmuştur. Briket kullanımındaki bu artışın malzemenin ekonomik olarak uygun olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



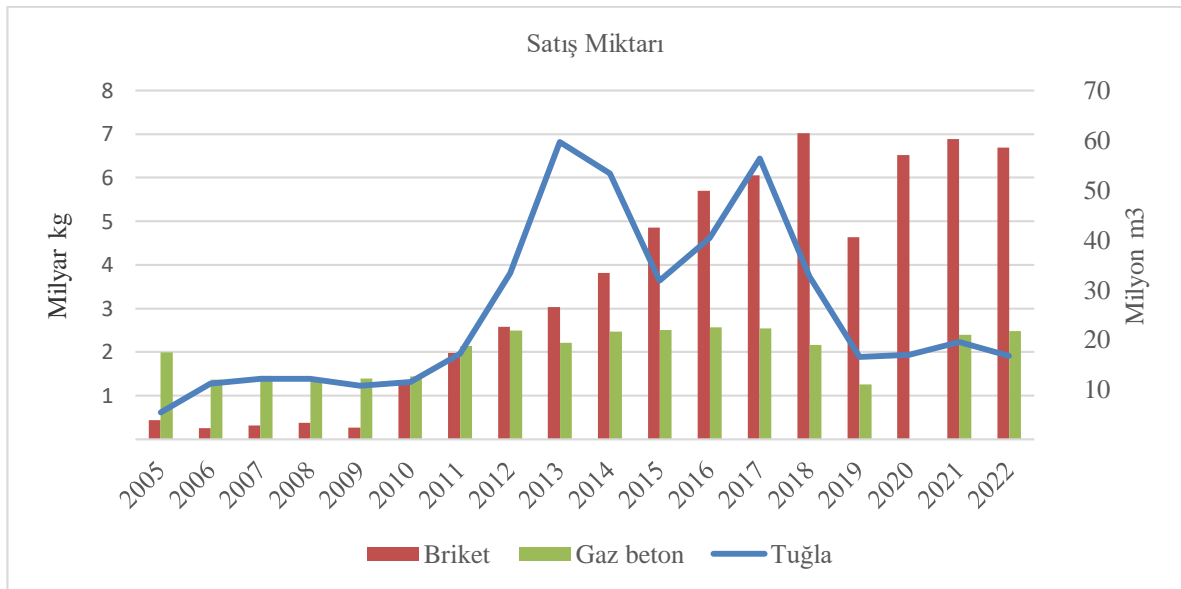
Şekil 1. Tuğla, briket ve gaz betonun üretim miktarları (Kaynak: TÜİK)

Şekil 2’de yer alan grafikte, tuğla, briket ve gaz beton üretiminin parasal değerleri TL cinsinden verilmiştir. Briket üretimi gaz betondan miktar olarak çok daha fazla olmasına rağmen, üretim değeri olarak gaz betonun altında kalmıştır. Bunun sebebinin gaz betonun daha pahalı bir malzeme olması olduğu tahmin edilmektedir. Tuğla ise alternatiflerine kıyasla sektörde en yüksek üretim değerine sahip malzemedir. Tuğla, gaz betondan daha düşük düşük üretim maliyetine sahip olmasına rağmen, daha yüksek üretim miktarına sahip olduğu için toplam üretim değeri gaz betonun üzerinde yer almaktadır. Üretim değerinin 2020 yılında itibaren hızlı artış göstermesinin sebebinin bu tarihten itibaren enflasyonda yaşanan hızlı artış olduğu düşünülmektedir.



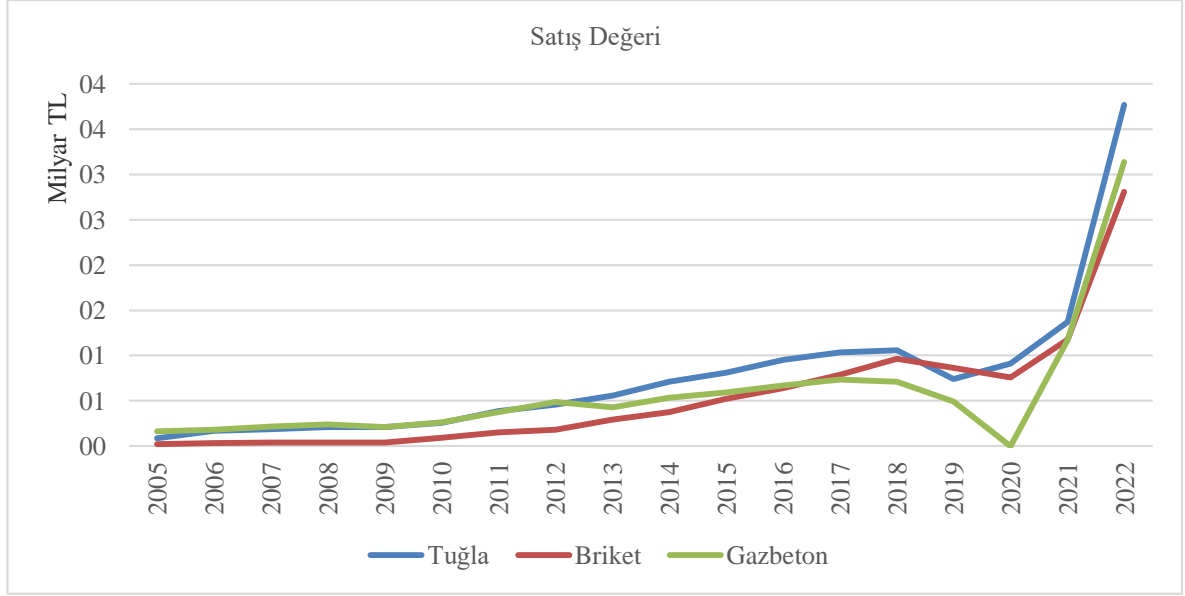
Şekil 2. Tuğla, briket ve gaz betonun üretim değerleri (Kaynak: TÜİK)

Şekil 3'te yer alan grafikte tuğla, briket ve gaz betonun satış miktarlarına yer verilmiştir. Buna göre 2022 yılında Türkiye'de yaklaşık 17 milyon m³ tuğla, 6,7 milyon ton briket, 2,5 milyon ton gaz beton satışı gerçekleşmiştir. Satış miktarları grafiği, Şekil 2'deki üretim değerleri ile paralellik göstermektedir. Bu durum, sektörde arz-talep dengesinin olduğuna işaret etmektedir. Tuğla satışlarının 2010 yılından 2013 yılına kadar hızla arttığı, daha sonra düşüşe geçerek 2017 yılında tekrar 2013 yılı seviyelerini yakaladığı, 2017-2019 yılları arasında keskin bir şekilde düşerek 2019 sonrası yatay bir seyir izlediği görülmektedir. Briket satışlarının ise 2018 yılına kadar hızlı bir artış gösterdiği, 2019 yılında muhtemelen pandeminin etkisi ile gerilediği, sonrasında tekrar 2018 yılı seviyesini yakaladığı görülmektedir.



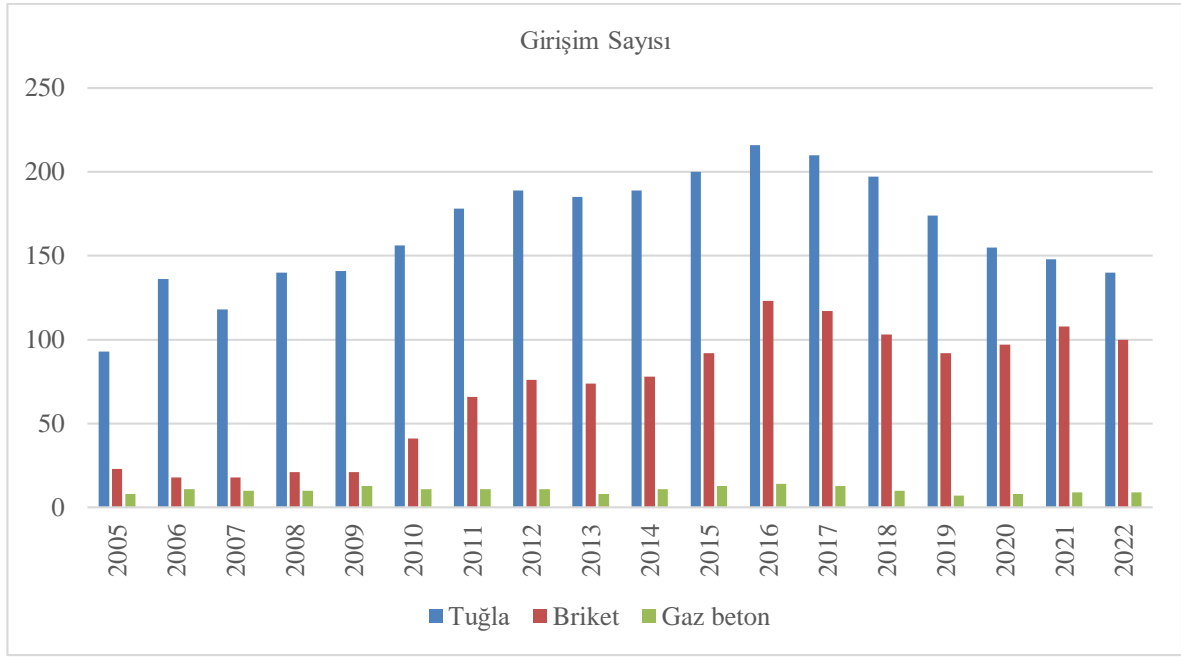
Şekil 3. Tuğla, briket ve gaz betonun satış miktarları (Kaynak: TÜİK)

Şekil 4'te yer alan grafikte tuğla, briket ve gaz betonun satış değerlerine TL cinsinden yer verilmiştir. Buna göre 2022 yılında en yüksek satış değerine sırasıyla tuğla, gaz beton ve briket sahip olmuştur. Satış değeri verilerinin Şekil 2'deki üretim değerleri ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu da üretilen ürünün piyasada hızlı bir şekilde alıcı bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Tuğla, briket ve gaz betonun satış değerleri (Kaynak: TÜİK)

Şekil 5'te yer alan grafikte, 2005 yılından itibaren sektöre giren yeni girişimcilerin sayısına yer verilmektedir. Gaz beton girişimcilerinin yıllara göre çok değişmediği görülmektedir. Briket girişimcileri genelde artış gösterme eğilimindedir. Tuğla girişimcileri ise 2016 yılına kadar artış göstermekte, sonrasında azalma eğilimine girmektedir.



Şekil 5. Tuğla, briket ve gaz beton üretimi ile ilgili yeni girişim sayısı (Kaynak: TÜİK)

Tuğla, briket ve gaz betonun üretim miktarı, üretim değeri, satış miktarı, satış değeri ve yeni girişim sayısı ile ilgili gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda tuğlanın pazar hacminin küçülmekte olduğu, briketin ise pazar hacminin büyümekte olduğu gözlemlenmektedir. Gaz betonda ise daha stabil bir görünüm vardır. İnşaat sektörü açısından bakıldığında, duvar yapımında kullanılan bu üç farklı malzemenin pazar hacmindeki değişimin mühendis, mimar ve müteahhitlerin ekonomik ve teknik uygunluklar bakımından yapılan tercihlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çevresel uygunluk ise henüz inşaat sektöründe yaygın olarak dikkat edilen bir kriter olmaktan uzaktır.

Sanayi emisyonlarının ana küresel itici gücü, çimento, kimyasallar, çelik, alüminyum, ahşap, kâğıt, plastik, yağlayıcılar, gübreler ve benzeri gibi üretimde dolaylı olarak kullanılan ürünlere olan talepteki büyük artış olmuştur (IPCC, 2022). Bu talep, ekonomik büyüme, artan refah ve tüketimin yanı sıra kentsel nüfustaki hızlı artış ve buna bağlı altyapı gelişiminden kaynaklanmaktadır (Krausmann ve ark. 2018). Beton, çelik ve diğer inşaat malzemelerinin artan kullanımının özellikle bu itici güçlerle sıkı bir şekilde bağlantılı olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır (Pauliuk ve ark., 2013; Cao ve ark., 2017; Krausmann ve ark., 2017; Plank ve ark., 2018; Haberl ve ark., 2020).

Çimento ve beton ucuz olması, dayanıklılık özellikleri ve kolay erişilebilir olması nedeniyle yapı malzemelerinin içeriğinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüketim kararlarının alınmasında genellikle üretim emisyonlarına önem verilmemektedir. Çimento üretimi küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmından sorumludur. Tahminler, çimento endüstrisinin dünyadaki toplam karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %8'inden sorumlu olduğunu göstermektedir (IEA, 2023). Bu durum büyük ölçüde, çimentonun ana bileşeni olan klinkerin üretilmesinde kullanılan ve önemli miktarda CO₂ açığa çıkaran kimyasal süreçlerden kaynaklanmaktadır.

Tuğla, briket ve gaz betonun çevresel etkilerini kıyaslayan çalışmalar incelendiğinde (Maia de Souza ve ark., 2016; Zastrow ve ark., 2017; Pons ve ark., 2018), bu duvar dolgu malzemeleri arasında çevresel etki farklılıklarının temel sebebinin malzeme içeriğinde bulunan çimentodan kaynaklandığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, çevresel etkilerin azaltılmasındaki bir diğer önemli etkenin malzemelerin üretiminde geri dönüşümden elde edilen hammaddelerin kullanılması olduğu görülmektedir.

Çevresel etkilerin azaltılabilmesi için yapı tasarımında yapı malzemesi seçimi önem kazanmaktadır. Duvarlar, yapı bileşenlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle yapı tasarımında çevresel açıdan avantajlı olan duvar dolgu malzemesinin seçilmesi yapının toplam gömülü karbon değerinin azaltılması ve yapının inşasından kaynaklı sera gazı emisyonlarının önüne geçilmesi bakımından dikkate alınması gereken önemli bir husustur.

Yapılan literatür incelemesinde içeriğinde çimento barındırmaması nedeniyle tuğlanın briket ve gaz betona nazaran çevresel etkilerinin ve gömülü karbon değerinin daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu üç yapı malzemesinin üretim ve satış istatistikleri incelendiğinde son yıllarda briket ve gaz betona olan talebin arttığı görülmektedir. Dolayısıyla yapı tasarımından sorumlu olan mühendis ve mimarların yapı malzemesi seçiminde çevresel etkileri yeterince önemsemediği söylenebilir. Ancak günümüzde bu çevresel etkiler giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle son yıllarda inşaat piyasasındaki pazar hacmi küçülen tuğla sektörünün önümüzdeki yıllarda kaybettiği pazar hacmini geri kazanacağı tahmin edilmektedir. Bundaki en önemli faktörün ise tuğlanın briket ve gaz betona göre daha çevre dostu bir malzeme olmasından kaynaklanması beklenmektedir. Bu minvalde tuğla üretiminde yeni teknolojilerin kullanılması ile sürdürülebilir üretim teknikleri geliştirilmesi ve üretim kaynaklı emisyonların azaltılması kritik öneme sahiptir.

5. Sonuç ve Öneriler

TÜİK tarafından yayımlanan Yıllık Sanayi Ürün İstatistikleri veri tabanından yararlanarak tuğla, briket ve gaz betona ait veriler derlenerek yapılan analiz sonucunda, bu malzemelerin imalat sanayi içindeki üretim ve satış miktarları ile değerleri belirlenmiş ve inşaat sektöründeki pazar hacimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tuğla üretimi ve satış miktarında dalgalanmalar fazladır. 2017 yılından itibaren tuğla üretiminde keskin bir düşüş yaşanmıştır. Buna rağmen üretim ve satış değerlerine bakıldığında tuğla hala sektörün öncüsü konumundadır. Tuğla sektörüne giren yeni girişimci sayısında 2016 yılından itibaren azalma görülmesine karşın, hala briket ve gaz betona göre daha fazla girişimcinin dikkatini çekmektedir.
- Briket, tuğla ve gaz betona kıyasla üretim ve satış miktarı en fazla artış gösteren malzemedir. 2005 yılından itibaren neredeyse sürekli artış trendindedir. Briket, ucuz bir malzemedir. Bu sebeple, üretim ve satış değerleri tuğla ve gaz betonun altında kalmaktadır. Yeni girişimciler, briket üretimine oldukça isteklidir.

- Gaz betonun üretim miktarı, tuğla ve brikete göre düşüktür. Üretiminde yıllar içinde diğerleri kadar dalgalanmalar yaşanmamıştır. Gaz beton, pahalı bir malzemedir. Bu sebeple, sektördeki üretim ve satış miktarı azdır. Üretim ve satış değeri tuğladan düşük, briketten fazladır. Yeni girişimciler, gaz beton üretimine katılmayı çok tercih etmemektedir.

Sonuç olarak duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan üç farklı alternatif malzemenin üretim ve satış miktarları ve değerleri incelendiğinde, sektörde tuğladan brikete doğru bir tercih kayması yaşandığı ortaya çıkmaktadır. Bu durumun, briketin ekonomik olarak daha cazip bir malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak çevresel perspektiften değerlendirildiğinde, briketin tuğlanın yerini almasının inşaat sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarında artışa sebep olacağı öngörülmektedir. Bunun sebebi, briketin üretiminde çimento kullanılmasından kaynaklı olarak gömülü karbon değerinin daha yüksek olmasıdır. Tuğlanın kaybettiği pazar payını yeniden kazanabilmesi için alternatiflerine göre daha çevre dostu bir malzeme olduğu konusunda inşaat sektöründe farkındalığın artırılması elzemdir. Bu bağlamda, Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisinden yararlanarak tuğlanın çevresel etkilerinin alternatif diğer yapı malzemelerine göre daha az olduğunun nicel ve somut olarak ortaya koyulması gerekmektedir. İnşaat sektöründe malzeme seçiminde karar verici konumda olan mühendis, mimar ve müteahhitlerin tercihleri sektördeki üretim ve satış miktarlarını belirlemektedir. Yapı malzemelerinin seçiminde çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Hedefinin gerçekleştirilmesinde ve çevresel etkilerin azaltılması bağlamında uluslararası yükümlüklerinin yerine getirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Gelecek çalışmalarda Yaşam Döngüsü Değerlendirme metodolojisi kullanılarak objektif olarak ortaya konmuş çevresel etkilerin yanı sıra tuğla, briket ve gaz betonun teknik özelliklerinin ve deprem sırasındaki davranışlarının karşılaştırmasının da bu yapı malzemelerinin mimar ve mühendisler tarafından seçiminde kolaylık sağlayacak etkili bir çalışma olacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destekleme Programları (BİDEB) 2211-A kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Almeida MI., Dias AC., Arroja L., Dias A. Life cycle assessment (cradle to gate) of a Portuguese brick. Portugal SB10-Sustainable Building Affordable to All Conference, 17-19 Mart 2010, sayfa no: 17-19, Vilamoura, Portekiz.
- BlokBims. Briket Değil BlokBims 2024. URL: <https://www.blokbims.com.tr/bilgi-merkezi/briket-degil-blokbims/>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Cao Z., Shen L., Løvik AN., Müller DB., Liu G. Elaborating the history of our cementing societies: An in-use stock perspective. *Environmental Science and Technology* 2017; 51(19): 11468–11475.
- Envirocon. Environmental Product Declaration 2022. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a98820b4-001c-4317-ef0b-08db61df2909/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Eurostat. NACE Rev. 2 Statistical classification of economic activities in the European Community 2008. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF>, Son Erişim Tarihi: 14.01.2024.
- Eurostat. Overview-Prodcom-Statistics by product 2023. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom>, Son Erişim Tarihi: 14.12.2023.
- Eurostat. Statistical Classification of Economic Activities in the European Community Rev. 2.1. (NACE_2.1) 2024. URL: https://showvoc.op.europa.eu/#/datasets/ESTAT_Statistical_Classification_of_Economic_Activities_in_the_European_Community_Rev._2.1._%28NACE_2.1%29/data, Son Erişim Tarihi: 22.02.2024.
- Gaziantep Ytong. Çevresel Ürün Beyanı 2020. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a2cbb8da-59d6-4c93-a11d-8a6783c6f648/Data>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- Globmac. Briket nedir? 2024 URL: <https://www.globmac.com/briket-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Haberl H., Wiedenhofer D., Virág D., Kalt G., Plank B., Brockway P., Fishman T., Hausknost D., Krausmann F., Leon-Gruchalski B., Mayer A., Pichler M., Schaffartzik A., Sousa T., Streeck J., Creutzig F. A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environmental Research Letters* 2020. 15(6): 1-42.
- IEA. Tracking clean energy progress 2023, Paris: IEA; 2023. <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>
- IPCC. Climate change 2022: Mitigation of climate change. 1st ed. UK: Cambridge University Press; 2023. Cambridge, UK ve New York, NY, USA; 2022.
- ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework 2006.

- ISO 14044:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines 2006.
- ISO 14025:2008. Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures 2008.
- Kingscourt Brick. Environmental Product Declaration 2021. URL: <https://www.igbc.ie/wp-content/uploads/2021/07/EPD-Kingscourt-Brick-12-07-2021-EPDIE-21-51.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- Krausmann F., Wiedenhofer D., Lauk C., Haas W., Tanikawa H., Fishman T., Miatto A., Schandl H., Haberl H. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proceedings of National Academy of Sciences* 2017; 114(8): 1880–1885.
- Krausmann F., Lauk C., Haas W., Wiedenhofer D. From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. *Global Environmental Change* 2018; 52: 131–140.
- Maia de Souza D., Lafontaine M., Charron-Doucet F., Chappert B., Kicak K., Duarte F., Lima, L. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. *Journal of Cleaner Production* 2016; 137: 70-82.
- Neser L. Introduction to earth science. Blacksburg: Virginia Tech Department of Geosciences; 2023.
- Özdemir Toprak Sanayi. Tuğla Üretimi ve Tuğla Üretim Aşamaları 2024. URL: <http://ozdemirtoprak.com/blog/tugla-uretimi-ve-tugla-uretim-asamalari/>, Son Erişim Tarihi: 26.02.2024.
- Pauliuk S., Wang T., Müller DB. Steel all over the world: Estimating in-use stocks of iron for 200 countries. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 71: 22–30.
- Plank B., Eisenmenger N., Schaffartzik A., Wiedenhofer D. International trade drives global resource use: A structural decomposition analysis of raw material consumption from 1990–2010. *Environmental Science and Technology* 2018; 52(7): 4190–4198.
- Pons JJ., Penadés-Plà V., Yepes V., Martí JV. Life cycle assessment of earth-retaining walls: An environmental comparison. *Journal of Cleaner Production* 2018; 192: 411-420.
- Prefabricados Etxeberria. Environmental Product Declaration 2021. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/35a31a75-7f34-47ff-8fe1-08d8bd2d7e04/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Roadstone. Environmental Product Declaration 2022. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a0e82a6d-4826-4069-a6f4-08da599e304a/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- Saray Tuğla. Environmental Product Declaration 2022. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/b58415f9-dfdd-4e00-9041-08dabb52e166/Data>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.

- Shaw Brick. Environmental Product Declaration 2022. URL: https://pcr-epd.s3.us-east-2.amazonaws.com/836.Shaw_Brick_Clay_Brick_EPD.pdf, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- The Brick Development Association. Environmental Product Declaration 2019. URL: <https://www.brick.org.uk/uploads/downloads/breg-en-epd-000002-v4.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- The Brick Industry Association. Environmental Product Declaration 2020. URL: <https://bowerstonshale.com/wp-content/uploads/2022/04/EPD.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.02.2024.
- The United Basalt Products Limited. Environmental Product Declaration 2020. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/b2e43311-f1ae-43d7-0317-08d8f01e26c9/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- TÜİK. Haber Bülteni: Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri, 2022.
- TÜİK. Yıllık Sanayi Ürün (PRODCOM) İstatistikleri 2023. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Sanayi-114>, Son Erişim Tarihi: 14.12.2023.
- Türk Gazbeton. Environmental Product Declaration 2024. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/a2223532-3ccb-4921-1b99-08dc2330a814/Data>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2024.
- UNFCCC. National Statement of the Republic of Türkiye 2024. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/TURKIYE_cop28cmp18cma5_HLS_ENG.pdf, Son Erişim Tarihi: 22.02.2024.
- Zastrow P., Molina-Moreno F., García-Segura T., Martí JV., Yepes V. Life cycle assessment of cost-optimized buttress earth-retaining walls: A parametric study. *Journal of Cleaner Production* 2017; 140: 1037-1048.



Bilim ve Sanat Merkezlerinde Özel Yetenek Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı

Şaban GÜRDAL^{1*}, Fethullah GÖÇER²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri, 46040, Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, 46040, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0002-7874-6406>

²<https://orcid.org/0000-0001-9381-4166>

*Sorumlu yazar: sabangurdal@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 27.08.2024

Kabul tarihi: 20.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Bilim ve Sanat Merkezleri
(BİLSEM)

Yetenek seçimi

Bulanık mantık

Çok kriterli karar verme (ÇKKV)

Ampirik vaka çalışması

ÖZ

Türkiye'de üstün yetenekli öğrencilerin tanınmasını yapan Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) gerçekleştirmekte ve bu öğrencilere Bilim ve Sanat Merkezleri'nde (BİLSEM) ek eğitim imkânı sunmaktadır. BİLSEM, sanat, müzik ve genel zihinsel alanlarda eğitim vererek öğrencilerin yeteneklerini keşfetmelerine ve potansiyellerine ulaşmalarına katkı sağlar. Müfredat; uyum, destek eğitimi, bireysel yetenek fark ettirme (BYF) ve özel yeteneklerin geliştirilmesi (ÖYG) gibi programları içermektedir. ÖYG programına geçiş yapan öğrenciler için yetenek alanının belirlenmesi, karmaşık bir karar verme sürecini gerektirir. Bu süreçte, birden fazla kriterin dikkate alınması ve belirsizliklerin etkili bir şekilde ele alınması önemlidir. Bu nedenle, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri ve sözel ifadeleri sayısal olarak daha iyi ifade edebilmek için Bulanık Küme Teorisi'nin kullanılması, daha doğru ve objektif sonuçlara ulaşılmasını sağlayabilir. Bu çalışmada, Türkiye'deki bir BİLSEM kurumunda ÖYG programına geçen öğrencilerin yetenek alanları, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Bulanık Uzlaşma Çözümüne Göre Alternatif ve Sıralama Ölçümü (MARCOS) yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu çerçevede, seçim problemlerinin doğasında olan belirsizlikleri dikkate alarak dinamik ve belirsiz ortamlarda daha etkili ve zamanında karar alınmasına katkıda bulunabilir. Nispeten keşfedilmemiş bir araştırma alanı olan ÖYG alan seçiminde, farklı değerlendirme kriterlerini dikkate almak amacıyla geliştirilen yaklaşımın uygulanabilirliğini ve geçerliliğini göstermek amacıyla ampirik bir vaka çalışması sunulmuştur. Bu kapsamda, Kahramanmaraş'ta bulunan bir BİLSEM'de ÖYG programına geçen 15 öğrencinin Bilişim Teknolojileri alanında değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 4 ana kriter ve 14 alt kriter arasından "Yetenek" en önemli ana kriter olarak belirlenirken "Farklı Çözüm Üretme" en önemli alt kriter olmuştur. Sonuçların önemini doğrulamak amacıyla duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçların korelasyon katsayısı karşılaştırılmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, öğrenciler değerlendirilmiş ve sıralamaları oluşturulmuştur. Son olarak, önerilen yöntemin artıları, eksileri ve sınırlamaları tartışılmıştır.

Multi-Criteria Decision-Making Approach for Determining Special Talent Areas in Science and Art Centres

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 27.08.2024

Accepted: 20.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Science and Art Centers (BİLSEM)

Talent selection

Fuzzy logic

Multi-criteria decision making (mcdm)

Empirical case study

The Ministry of National Education (MEB) in Turkey identifies gifted students and offers specialized education through Science and Art Centres (BİLSEM) to help these students explore and develop their talents in fields such as art, music, and intellectual skills. BİLSEM's curriculum includes adaptation, support education, individual talent recognition (BYF), and special talent development (ÖYG) programs. When students transition to the ÖYG program, selecting their gifted area involves a complex decision-making process that must address multiple criteria and account for uncertainty. This study proposes using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques combined with Fuzzy Set Theory to quantify verbal assessments, improving the objectivity and precision of results. Specifically, Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) and Measurement of Alternatives and Ranking According to Fuzzy Consensus Solution (MARCOS) are applied to determine aptitude areas for students advancing to the ÖYG program at a BİLSEM center in Türkiye. An empirical case study was conducted with 15 students from the Information Technologies field at a BİLSEM in Kahramanmaraş. In this case, 4 main criteria and 14 sub-criteria were used, with 'Ability' as the most significant main criterion, and 'Generating Different Solutions' as the most important sub-criterion. Sensitivity analysis and correlation coefficient comparisons were carried out to verify the robustness and relevance of the findings. Following the calculation of criteria weights, students were evaluated and ranked accordingly. This approach, which integrates MCDM and fuzzy logic, offers a practical framework for making more effective and timely decisions in the uncertain environment characteristic of gifted student assessment. The study concludes with a discussion on the strengths, limitations, and potential improvements of the proposed method.

To Cite: Gürdal Ş., Göçer F. Bilim ve Sanat Merkezlerinde Özel Yetenek Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 668-693.

1. Giriş

Ülkemizde üstün zekâlı öğrenciler genel zihinsel yetenek, belirli bir akademik alanda özel yetenek, liderlik yeteneği, görsel yetenekler, devimsel yetenek alanlarından en az bir tanesinden diğer insanlara göre üstün performans gösteren öğrenciler olarak tanımlanmaktadır (Davaslıgil, 2015). Bu tanılama öğrencilerin eğitimi için atılan ilk adımdır (Şahin ve Kargın, 2013). Ülkemizde bu tanılama işlemi Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) Özel Eğitim Rehberlik ve Danışma Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir. Özel yetenekli tanınması yapılan öğrenciler mevcut okullarının yanı sıra, Bilim ve Sanat Merkezlerinde (BİLSEM) yetenek alanlarına yönelik eğitimler almaktadırlar (Baykoç Dönmez, 2012).

BİLSEM'ler üç temel yetenek alanında (resim, müzik, genel zihinsel), üstün yetenekli öğrencilere yönelik, mevcut eğitim kurumlarından bağımsız olarak eğitim gerçekleştirilen merkezlerdir. Merkezlerde verilen eğitim amacı üstün yetenekli öğrencilerin bireysel yeteneklerini keşfetmeleri ve mevcut potansiyellerini en verimli şekilde kullanmalarını sağlamaktır. Merkeze kayıt yaptıran öğrenciler ilkokul döneminden başlayıp lise mezuniyetine kadar eğitim almaktadırlar. Merkezdeki eğitimler Uyum, destek, bireysel yetenekleri fark ettirme (BYF), Özel Yeteneklerin Geliştirilmesi (ÖYG), Proje olmak üzere 5 programdan oluşmaktadır. Resim ve müzik alanındaki öğrenciler için eğitim basamak olarak ilerlemekte iken genel zihinsel yetenek alanındaki öğrenciler ÖYG programına kadar farklı akademik eğitimleri almaktadır ve ÖYG programında kendi yetenek alanlarında eğitim almaktadır (Başar Daz, 2018).

ÖYG programına geçen öğrencilerin alacakları eğitimler, daha önceden almış oldukları eğitimler sonucunda belirlenen performans çizelgeleri göz önünde bulundurularak BİLSEM öğretmenler kurulu tarafından belirlenmektedir. Bu belirleme işleminin doğru şekilde belirlenmesi hem kurumun vermiş olduğu eğitimin verimini artıracak hem de öğrencinin yeteneklerinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesini sağlayacaktır. Öğrencinin yerleştirilebileceği 11 eğitim alanından hangisinin öğrenciye uygun olduğuna karar verilmesi gerekmektedir (Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 2023).

Bireyler günlük hayat akışı içerisinde karşılaştıkları alternatifler arasında şartları ve kriterleri en uygun olanı seçme ve karar verme durumuyla karşılaşabilirler. Son yarım yüzyıl incelendiğinde hayatın akışının hızlanması karmaşayı da beraberinde getirmekte ve seçim yapma, karar verme problemlerini de karmaşıktırmaktadır. Karar vermedeki bu karmaşayı aşabilmek için alternatiflerin değerlendirilmesinde kriterler kullanılmalıdır. Bu karar verme işlemlerini gerçekleştirebilmek için 1970'li yıllardan bu yana birçok Çok Kriterli Karar Verme (ÇKVV) yöntemi geliştirilmiştir (Büyüközkan ve ark., 2018).

ÇKVV yöntemleri, seçim yapılacak olan problemi analiz etmeye, çözümler sunmaya ve seçim yapacak bireyin isteklerine ve koşullarına göre seçenekleri değerlendirmeye destek olan yöntemlerdir. Bu yöntemler seçim yapacak olan bireye alternatifler arasından kriterlerine uygun en iyi seçimi yapmasına yardımcı olmak üzere tasarlanmıştır.

Karar vermenin öznel bir süreç olmasından kaynaklı bazı bilgiler sayısal olarak ifade edilememektedir. Bu durumlarda karar verme sürecine bulanık küme teorisi dahil edilmektedir. Bulanık küme teorisi insan düşüncesini sayısal olarak ifade etmekte daha başarılı olmaktadır. Klasik karar verme sürecinde belirsizlik ve kesin olmayan durumlar olduğunda bulanık karar verme yöntemleri tercih edilmektedir (Öztürk ve ark., 2008).

Bu çalışmada karar sürecinin öznel bir bakış açısı içermesinden dolayı ÖYG programına geçen BİLSEM öğrencileri için alan seçimi problemini çözmek için Grup Karar Verme Temelli Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Bulanık Uzlaşma Çözümüne Göre Alternatif ve Sıralama Ölçümü (MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution)) yöntemleri kullanılarak çözüm aranmıştır. AHP yöntemi ilk olarak Saaty tarafından ortaya atılmıştır. (Saaty, 1980). Niteliksel ifadelerin daha iyi ifade edilmesi için bulanık kümelerle birlikte kullanılması ile Bulanık AHP yöntemi ortaya çıkmıştır (Buckley, 1985; Chen ve ark., 2011). Karar verme sürecinde önyargı ve öznellikten kaynaklı etkileri en aza indirmek için Grup Karar Verme yöntemi tekli karar verme yöntemine tercih edilmektedir (Büyüközkan ve Göçer, 2017). Bu çalışmada da Bulanık AHP tekniği uygulanırken aynı sebeplerden kaynaklı olarak Grup Karar Verme tercih edilmiştir. Kullanılacak olan diğer bir yöntem olan MARCOS yöntemi Stevic ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Stević ve ark., 2020). Stankovic tarafından bulanık kümelerle birlikte kullanılarak Bulanık MARCOS yöntemi oluşturulmuştur (Stanković ve ark., 2020). Bulanık MARCOS yöntemi ile Bulanık AHP yöntemi birleştirilerek farklı alanlarda problem çözümleri oluşturulmuştur. Bulanık AHP yöntemi ve Bulanık MARCOS yönteminin birlikte kullanıldığı eğitim alanına yönelik çalışma sadece Wang ve arkadaşları

tarafından gerçekleştirilmiştir (Wang ve ark., 2022). Bu melez yöntemeye yönelik BİLSEM özelinde herhangi bir çalışma yapılmamış olması ve özel yeteneklerin belirlenmesi için herhangi bir çalışma henüz gerçekleştirilmemiş olması bu çalışmanın özgün yönünü ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın aşamaları sırasıyla şu şekildedir: İkinci bölümde literatür taramasına yer verilmiş, izleyen bölümde entegre edilecek yöntemler açıklanmıştır. Kriterlerin belirlenmesi, uygulama ve gerçek vakanın açıklaması yönetimsel çıkarımlar ve duyarlılık analizi dördüncü bölümde gösterilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve değerlendirmeler açıklanmıştır.

2. Literatür Taraması

Bulanık AHP yöntemi birçok alanda farklı karar verme problemleri için kullanılmaktadır. Bulanık AHP yönteminin eğitim alanında kullanımı ile ilgili çalışmamıza fayda sağlayacağını düşünülen çalışmalar analiz edilmiş ve Tablo 1’de verilmiştir. Bulanık MARCOS yöntemi ile ilgili bir eğitim alanında çalışmaya rastlanmamıştır. Bulanık AHP ve Bulanık MARCOS yönteminin birlikte kullanımı ile ilgili çalışmaya katkı sağlayacağı düşünülen çalışmalar Tablo 2’de verilmiştir. Yapılan literatür taramasında BİLSEM’ler ile ilgili gerçekleştirilmiş ÇKVY çalışması sadece Özdemir ve Bozkurt tarafından gerçekleştirildiği görülmüştür. Özdemir ve Bozkurt yapmış oldukları çalışmada BİLSEM öğrencilerinin seçmeli atölyelerinin belirlenmesi için AHP yönteminden faydalanmışlardır (Özdemir ve Bozkurt, 2020).

Tablo 1. Eğitim alanında gerçekleştirilmiş bulanık AHP çalışmalar

Yazarlar	Yıl	Alan	Amaç	Sonuç
Gültaş (2007)	2007	Eğitim	Matematik Ders İçeriklerinin Belirlenmesi	Endüstri mühendisliği matematik dersi içerikleri belirlenmiştir.
Çiçekli ve Karaçizmeli (2013)	2013	Eğitim	Başarılı Öğrenci Seçimi	Başarılı öğrenci seçimi için karar destek sistemi önerilmiştir
Karakış (2019)	2019	Eğitim	Özel Okullarda Öğretmen seçimi	Özel okullarda öğretmen seçimi için karar destek modeli önerilmiştir.
Sharma ve ark. (2024)	2024	Eğitim	İnşaat Mühendisliği Lisans Programının Değerlendirilmesi	Hindistan’da bir inşaat mühendisliği lisans programının müfredatı bina inşaatı sektörünün ihtiyaçları dikkate alarak değerlendirilmiştir.
Do. (2024)	2024	Eğitim	Öğretim Görevlilerinin Performansının Değerlendirilmesi	Vietnam’da gerçekleştirilen çalışmada öğretim görevlilerinin performansını ÇKVY yöntemleri ile değerlendirilmiştir.
Singh ve ark. (2024)	2024	Eğitim	Yapay zeka tabanlı dijital öğrenme sistemlerinin değerlendirilmesi	Pandemi döneminde kullanılan yapay zeka tabanlı dijital öğrenme sistemlerinin Bulanık AHP yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Bulanık AHP ve bulanık MARCOS yöntemlerinin entegre olduğu çalışmalar

Yazarlar	Yıl	Alan	Amaç	Sonuç
Boral ve ark. (2020)	2020	Mühendislik	Hata modu ve etkileri analizi	Hata modu etkileri analizi yaklaşımı geliştirilmiştir
Büyüközkan ve ark. (2021)	2021	Ulaşım	Hava yolu sektöründe dijital dönüşüm stratejisi analizi	Hava yolu şirketlerinin dijital dönüşüm stratejileri, yeni bir karar verme yöntemi geliştirilmiştir.
Wu ve ark. (2022)	2022	Madencilik	Yeşil Madencilik Stratejisi belirlenmesi	Yeşil Madencilik konusunda strateji belirlemek amacıyla yeni bir karar destek sistemi önerilmiştir.
Wang ve ark. (2022)	2022	Eğitim	Üniversite Öğrencilerinin Çevrimiçi Eğitiminin Değerlendirilmesi	COVID-19 Sürecinde Üniversite Öğrencilerinin Çevrimiçi Eğitiminin SWOT Analizi ile Değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan literatür taramasına göre eğitim alanında Grup Karar Verme Temelli Bulanık AHP ve Bulanık MARCOS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı tek çalışma Wang ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir (Wang ve ark., 2022). Bu çalışma Grup Karar Verme Temelli Bulanık AHP ve Bulanık MARCOS yöntemlerinin beraber kullanımı ile özel yetenek alanının belirlenmesinde tek çalışma olması ve eğitim alanında bu yöntemleri beraber kullanan yeni bir çalışma olması yönüyle literatüre katkı sağlayacaktır. Çalışmada eğitim programı seçimi bağlamında Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Bulanık Uzlaşma Çözümüne Göre Alternatiflerin Ölçülmesi ve Sıralaması (MARCOS) yöntemlerinin kullanımı tanıtılmaktadır. Bu gelişmiş çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri, eğitim alanında, özellikle de üstün yetenekli öğrencilerde özel yeteneklerin belirlenmesi ve geliştirilmesinde nispeten yenidir. Bulanık Küme Teorisini birleştirerek, çalışma, öğrencilerin yeteneklerinin değerlendirilmesindeki doğal belirsizlikleri ve muğlaklığı ele almaktadır. Bu yaklaşım, niteliksel değerlendirmeleri niceliksel verilere dönüştürerek daha objektif ve doğru bir değerlendirme süreci sağlaması açısından yenilikçidir.

Çalışma, eğitim araştırmalarında nispeten keşfedilmemiş bir alanı “BİLSEM kurumlarında ÖYG programı kapsamındaki belirli yetenek alanlarının seçimi ve geliştirilmesini” hedeflemektedir. Niş bir alana odaklanma, benzer eğitim bağlamlarında daha da geliştirilip uygulanabilecek yeni anlayışlar ve metodolojiler sağlar. Çalışma, Türkiye'deki belirli bir BİLSEM kurumunda ampirik bir vaka çalışmasına dayanmaktadır. Bu gerçek dünya uygulaması yalnızca önerilen yöntemleri doğrulamakla kalmıyor, aynı zamanda canlı bir eğitim ortamında bunların pratik sonuçlarını ve etkililiğini de sergiliyor. Önerilen çerçeve, eğitimde karar vermenin dinamik ve belirsiz doğasını dikkate almaktadır. Birden fazla kriterin entegre edilmesi ve belirsizliklerin etkili bir şekilde ele alınması yoluyla çalışma, farklı eğitim ortamları ve gereksinimleri için özelleştirilebilecek sağlam ve uyarlanabilir bir karar verme süreci sunmaktadır. Çalışma, sonuçların sağlamlığını ve güvenilirliğini doğrulamak için duyarlılık analizi ve korelasyon

katsayısı karşılaştırmalarını içeren kapsamlı bir değerlendirme yaklaşımı kullanmaktadır. Bu kapsamlı değerlendirme, bulguların yalnızca teorik olarak sağlam olmasını değil aynı zamanda pratik olarak da güvenilir olmasını sağlar. Ayrıntılı bir metodoloji sağlayarak ve uygulamasını göstererek, bu çalışma eğitim politika yapımcıları ve uygulayıcıları için değerli bilgiler sunmaktadır. Üstün yetenekli öğrencilerin yeteneklerinin tanımlanmasını ve geliştirilmesini geliştirmek için ileri analitik yöntemler kullanmanın önemini vurgulayarak gelecekteki eğitim stratejilerini ve politikalarını potansiyel olarak etkileyebilir. Özetle, bu çalışmanın özgünlüğü ve bireyselliği, gelişmiş karar verme tekniklerinin ve Bulanık Küme Teorisinin, keşfedilmemiş bir eğitim bağlamında yenilikçi uygulamasında, eğitim politikası ve uygulaması için önemli sonuçları olan pratik ve kapsamlı bir değerlendirme yaklaşımıyla birleştirilmesinde yatmaktadır.

3. Materyal ve Metot

3.1. Üçgen Bulanık Sayılar (ÜBS)

Üyelik derecesine sahip nesnelere bulunduğu kümeler bulanık küme denir. Bulanık sayılar ise güven aralığını temsil eden gerçek sayıların bulanık alt kümesidir. Bu sayıların üyelik fonksiyonları $[0,1]$ arasında yer alır. Birçok bulanık sayı çeşidi bulunmaktadır. Bu çalışmada üçgen bulanık sayılar (ÜBS) kullanılacaktır (Chen ve ark., 2011).

Bir ÜBS aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & \text{ise } l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, & \text{ise } m \leq x \leq u \\ 0 & \text{,ise diğer durumlar} \end{cases} \quad (1)$$

Denklem (1)'de yer alan \tilde{A} ifadesi bir ÜBS sayısını, l bu sayının alt değeri u ise üst değeri temsil eder iken m ise \tilde{A} sayısının en çok tekrar eden değerini yani modalını temsil etmektedir (Chen ve ark., 2011). \tilde{A} sayısının temel gösterimi $\tilde{A} = (l, m, u)$ şeklindedir. İki ÜBS arasındaki operatörler $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ÜBS sayıları üzerinden aşağıda gösterilmiştir.

Toplama:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

Çıkarma:

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (3)$$

Çarpma:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \text{ ise } , l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2 > 0 \quad (4)$$

Bölme:

$$\frac{\tilde{A}_1}{\tilde{A}_1} = \left(\frac{l_1}{l_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{u_2} \right) \text{ ise, } l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2 > 0 \quad (5)$$

3.2. Bulanık AHP

Çoklu kriterlere dayalı ve alternatiflerin seçimini içeren problem durumlarının çözümünde kullanılan ÇKVY yöntemi olan AHP ilk olarak Saaty tarafından önerilmiştir (Saaty, 1980). İlk önerilen AHP’de özelliklerin değerlendirilmesi için net değerler kullanılmaktaydı. Fakat niteliksel özelliklerin net olarak ifade edilmesi pek de mümkün olamamaktaydı. Bu sebepten dolayı ilk AHP’nin bulanık kümelerle birlikte kullanılması Bulanık AHP olarak daha yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ölçülemeyen niteliksel özelliklerin değerlendirilmesinde faydalı güvenilir sonuçlar üretmiştir (Chen ve ark., 2011). Buckley’in geliştirmiş olduğu Bulanık AHP yöntemine ait adımlar aşağıda gösterilmiştir (Buckley, 1985):

1) Karar verme işleminde n tane alternatifi değerlendirmek üzere k sayıda karar verici yer alacağı düşünülmektedir. Her bir karar verici başlangıç bulanık ikili karşılaştırma matrisi oluşturur her sözel değerlendirme Tablo 3’i takiben karşılık gelen bulanık sayılara dönüştürülür. Denklem (6) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{A}^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{\alpha}_{12}^{(1)} & \dots & \tilde{\alpha}_{1n}^{(1)} \\ \tilde{\alpha}_{21}^{(1)} & 1 & \dots & \tilde{\alpha}_{2n}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\alpha}_{n1}^{(1)} & \tilde{\alpha}_{n2}^{(1)} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \dots, \tilde{A}^{(k)} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{\alpha}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{\alpha}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{\alpha}_{21}^{(k)} & 1 & \dots & \tilde{\alpha}_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\alpha}_{n1}^{(k)} & \tilde{\alpha}_{n2}^{(k)} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada $\tilde{\alpha}_{ij}^{(k)}$ sayısı k numaralı karar vericinin j kriterinin i kriterine göre değerlendirilmesine karşılık gelmektedir.

Tablo 3. Bulanık AHP için sözel ifadelere karşılık gelen bulanık sayılar

Sözel İfade	ÜBS
Mutlak Zayıf (MZ)	(1/3, 2/5, 1/2)
Aşırı Zayıf (AZ)	(2/5, 1/2, 2/3)
Gayet Zayıf (GZ)	(1/2, 2/3, 1)
Biraz Zayıf (BZ)	(3/2, 1, 1)
Eşit (E)	(1, 1, 1)
Biraz Güçlü (BG)	(1, 1, 3/2)
Gayet Güçlü (GG)	(1, 3/2, 2)
Aşırı Güçlü (AG)	(3/2, 2, 5/2)
Mutlak Güçlü (MG)	(2, 5/2, 3)

2) Son karşılaştırma matrisi Denklem (7) kullanılarak oluşturulur.

$$\tilde{A}^{(k)} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{\alpha}_{12} & \cdots & \tilde{\alpha}_{1n} \\ \tilde{\alpha}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{\alpha}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\alpha}_{n1} & \tilde{\alpha}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Bu matris oluşturulurken kullanılacak olan Denklem (8) aşağıda gösterilmiştir.

$$\tilde{A} = \frac{\tilde{A}^1 \oplus \tilde{A}^2 \oplus \cdots \oplus \tilde{A}^k}{k}, \tilde{\alpha}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \text{ için } 1 \leq i, j \leq n \quad (8)$$

3) Son karşılaştırma matrisi Denklem (9) kullanılarak durulaştırılır. Durulaştırılmış matrisin karşılaştırma sonuçları tutarlı olup olmadığı kontrol edilir. Tutarlılık sağlanıyorsa son karşılaştırma matrisi üzerinden Adım 4'e geçilir yoksa Adım 1'e tekrar dönlür.

$$Adf = \frac{(l + 4m + u)}{6} \quad (9)$$

4) Kriterlerin ağırlıkları için her bir satırın geometrik ortalaması Denklem (10) kullanılarak hesaplanır.

$$\begin{aligned} l_1^{GM} &= [1x l_{12} x l_{13} x \dots x l_{1n}]^{\frac{1}{n}} \\ l_2^{GM} &= [l_{21} x 1 x l_{23} x \dots x l_{2n}]^{\frac{1}{n}} \\ &\vdots \\ l_n^{GM} &= [l_{n1} x l_{n2} x l_{n3} x \dots x 1]^{\frac{1}{n}} \\ m_1^{GM} &= [1x m_{12} x m_{13} x \dots x m_{1n}]^{\frac{1}{n}} \\ m_2^{GM} &= [m_{21} x 1 x m_{23} x \dots x m_{2n}]^{\frac{1}{n}} \\ &\vdots \\ m_n^{GM} &= [m_{n1} x m_{n2} x m_{n3} x \dots x 1]^{\frac{1}{n}} \\ u_1^{GM} &= [1x u_{12} x u_{13} x \dots x u_{1n}]^{\frac{1}{n}} \\ u_2^{GM} &= [u_{21} x 1 x u_{23} x \dots x u_{2n}]^{\frac{1}{n}} \\ &\vdots \\ u_n^{GM} &= [u_{n1} x u_{n2} x u_{n3} x \dots x 1]^{\frac{1}{n}} \end{aligned} \quad (10)$$

5) Geometrik ortalama değerlerinin sırasıyla l_s^{GM} , m_s^{GM} , u_s^{GM} olarak kabul edersek kriter ağırlıkları Denklem (11) kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{w}_i = \begin{matrix} \text{Kriter 1} \\ \text{Kriter 2} \\ \vdots \\ \text{Kriter n} \end{matrix} \begin{pmatrix} \left(\frac{l_1^{GM}}{u_s^{GM}}, \frac{m_1^{GM}}{m_s^{GM}}, \frac{u_1^{GM}}{l_s^{GM}} \right) \\ \left(\frac{l_2^{GM}}{u_s^{GM}}, \frac{m_2^{GM}}{m_s^{GM}}, \frac{u_2^{GM}}{l_s^{GM}} \right) \\ \vdots \\ \left(\frac{l_n^{GM}}{u_s^{GM}}, \frac{m_n^{GM}}{m_s^{GM}}, \frac{u_n^{GM}}{l_s^{GM}} \right) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} (l_1^{(w)}, m_1^{(w)}, u_1^{(w)}) \\ (l_2^{(w)}, m_2^{(w)}, u_2^{(w)}) \\ \vdots \\ (l_n^{(w)}, m_n^{(w)}, u_n^{(w)}) \end{bmatrix} \quad \forall_i = 1, 2, \dots, n \text{ için} \quad (6) \quad (11)$$

Ana kriterlerin altında alt kriterler bulunduğu zaman bulanık çarpımlar bulanık kriterler arasında gerçekleştirilir.

3.3. Bulanık MARCOS

MARCOS yeni ortaya ıkmiş fayda tabanlı KVV yöntemidir. Oran noktası ve referans noktası sıralama tekniklerinin entegre edilmesi sonucu daha tutarlı sıralama sonuçları sağlamaktadır. Karar sürecinin başından sonuna kadar ideal (İD) ve ideal olmayan (AİD) değerleri dikkate alır. İD ve AİD değerleri üzerinden alternatifler arasında fayda ilişkisi kurulmaktadır. Bir KVV problemi çok sayıda alternatif ve kriter barındırdığı gözönüne alındığında sıralama ve çözüm kararlılığı gösterdiği görülmektedir. MARCOS yöntemi 2020 yılında Stević ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Stević ve ark., 2020). Niteliksel zelliklerin ifadesi için bulanık kmlerle bütünleşmiş yöntem olan Bulanık MARCOS Stanković tarafından önerilmiştir (Stanković ve ark., 2020).

Önerilen Bulanık MARCOS yönteminin adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: n kriter ve m alternatiften oluşan ilk bulanık karar verme matrisinin oluşturulması. Sözel ifadelere karşılık gelen BS sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Bulanık MARCOS için sözel ifadelere karşılık gelen bulanık sayılar

Sözel İfade	BS
Mutlak Zayıf (MZ)	(1, 1, 1)
Aşırı Zayıf (AZ)	(1, 1, 3)
Gayet Zayıf (GZ)	(1, 3, 3)
Biraz Zayıf (BZ)	(3, 3, 5)
Eşit (E)	(3, 5, 5)
Biraz Güçlü (BG)	(5, 5, 7)
Gayet Güçlü (GG)	(5, 7, 7)
Aşırı Güçlü (AG)	(7, 7, 9)
Mutlak Güçlü (MG)	(7, 9, 9)

Adım 2: ID ve AID değerlerini kullanarak ilk bulanık karar verme matrisinin Denklem (12) ile genişletilir.

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1, & \tilde{C}_2, & \dots, & \tilde{C}_3 \\ \tilde{A}(AID) & \tilde{X}_{ai1} & \tilde{X}_{ai2} & \dots & \tilde{X}_{ain} \\ \tilde{A}_1 & \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1n} \\ \tilde{A}_2 & \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{A}_M & \tilde{X}_{m1} & \tilde{X}_{m2} & \dots & \tilde{X}_{mn} \\ \tilde{A}(ID) & \tilde{X}_{id1} & \tilde{X}_{id2} & \dots & \tilde{X}_{idn} \end{matrix} \quad (12)$$

AID ve ID kriter türüne bağlı olarak belirlenir. Denklem (13) ve Denklem (14) uygulanır. Denklemlerde B fayda C maliyet kriterlerini ifade eder.

$$\tilde{A}(ID) = \max_i \tilde{x}_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min_i \tilde{x}_{ij} \text{ if } j \in C \quad (13)$$

$$\tilde{A}(AID) = \min_i \tilde{x}_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max_i \tilde{x}_{ij} \text{ if } j \in C \quad (14)$$

Adım 3: Başlangıç bulanık karar matrisini normalize edilerek $\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{m \times n}$ matrisi oluşturulur. Normalizasyon işlemleri için Denklem (15) ve Denklem (16) kullanılır.

$$\tilde{n}_{ij} = (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u) = \left(\frac{x_{id}^l}{x_{ij}^u}, \frac{x_{id}^m}{x_{ij}^m}, \frac{x_{id}^u}{x_{ij}^l} \right) \text{ Eğer } j \in C \quad (15)$$

$$\tilde{n}_{ij} = (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u) = \left(\frac{x_{ij}^l}{x_{id}^u}, \frac{x_{ij}^m}{x_{id}^m}, \frac{x_{ij}^u}{x_{id}^l} \right) \text{ Eğer } j \in B \quad (16)$$

$x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u$ ve $x_{id}^l, x_{id}^m, x_{id}^u$ elemanları \tilde{X} matrisine ait elemanlardır.

Adım 4: Bulanık Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ olarak hesaplanır. Hesaplanırken Denklem (17) kullanılır. Kriter ağırlıkları Denklem (11) kullanılarak hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılır.

$$\tilde{v}_{ij} = (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u) = \tilde{n}_{ij} \otimes \tilde{w}_j = (n_{ij}^l x w_j^l, n_{ij}^m x w_j^m, n_{ij}^u x w_j^u) \quad (17)$$

Adım 5: Bulanık ağırlıklandırılmış normalizasyon karar matrisinin satır elemanlarının toplamı Denklem (18) kullanarak hesaplanır. $\tilde{S}^{(ID)}$ ve $\tilde{S}^{(AID)}$ değerleri de hesaplanır.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_{ij} \quad (18)$$

Adım 6: Alternatiflerin fayda dereceleri \tilde{K}_i Denklem (19) ve Denklem (20) kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{K}_i^- = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{aid}} = \left(\frac{s_i^l}{s_{aid}^u}, \frac{s_i^m}{s_{aid}^m}, \frac{s_i^u}{s_{aid}^l} \right) \quad (19)$$

$$\tilde{K}_i^+ = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{id}} = \left(\frac{s_i^l}{s_{id}^u}, \frac{s_i^m}{s_{id}^m}, \frac{s_i^u}{s_{id}^l} \right) \quad (20)$$

Adım 7: İdeal $f(\tilde{K}_i^+)$ ve anti ideal $f(\tilde{K}_i^-)$ çözümleri için fayda fonksiyonu Denklem (21) ve Denklem (22) kullanılarak hesaplanır.

$$f(\tilde{K}_i^+) = \frac{\tilde{K}_i^-}{df_{crisp}} = \left(\frac{k_i^{-l}}{df_{crisp}}, \frac{k_i^{-m}}{df_{crisp}}, \frac{k_i^{-u}}{df_{crisp}} \right) \quad (21)$$

$$f(\tilde{K}_i^-) = \frac{\tilde{K}_i^+}{df_{crisp}} = \left(\frac{k_i^{+l}}{df_{crisp}}, \frac{k_i^{+m}}{df_{crisp}}, \frac{k_i^{+u}}{df_{crisp}} \right) \quad (22)$$

$$\tilde{T}_i = \tilde{t}_i = (t_i^l, t_i^m, t_i^u) = \tilde{K}_i^- \oplus \tilde{K}_i^+ = (k_i^{-l} + k_i^{+l}, k_i^{-m} + k_i^{+m}, k_i^{-u} + k_i^{+u}) \quad (23)$$

$$\max_i \tilde{t}_i = \tilde{D} = (d^l, d^m, d^u) \quad (24)$$

$$df_{crisp} = \frac{d^l + 4d^m + d^u}{6} \quad (25)$$

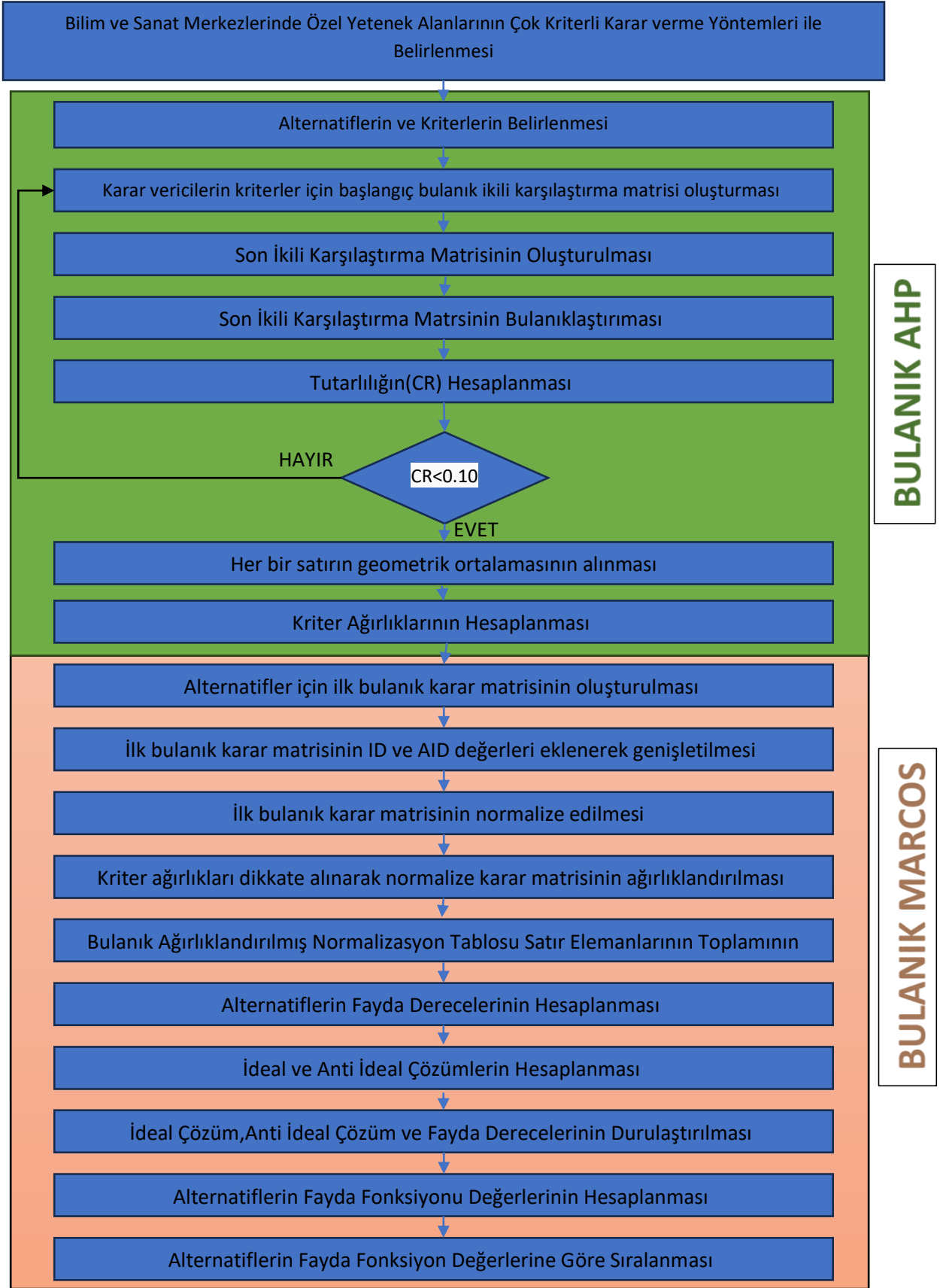
Burada $\tilde{K}_i^-, \tilde{K}_i^+, f(\tilde{K}_i^+), f(\tilde{K}_i^-)$ değerleri durulaştırılır.

Adım 8: Alternatiflerin fayda fonksiyonları $f(K_i)$ Denklem (26) aracılığıyla elde edilir.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (26)$$

Adım 9: Alternatifleri fayda fonksiyonlarının son değerlerine göre sıralayın. Sıralama en yüksek değerden en alt değere göre gerçekleştirilir.

Önerilen yöntemin hiyerarşik şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Önerilen bulanık AHP ve bulanık MARCOS entegre yöntemi akış şeması

4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma, Kahramanmaraş'ta yer alan bir BİLSEM kurumunu temel alarak gerçekleştirilmiştir. Kurumda ÖYG aşamasına geçen öğrenciler arasından bilişim alanına seçilecek öğrenciler belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla BİLSEM bünyesinde çalışan üç bilişim teknolojisi öğretmeni seçilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde grup karar verme (GKV) yöntemi kullanılmıştır. Öğrenci seçimi aşamasında ise kurumdaki bilişim teknolojileri öğretmeni tek karar verici olarak belirlenmiştir. Mahremiyet açısından, kurum adı, öğretmen ve öğrenci isimleri gizli tutulmuştur. Öğrenciler Ö₁, Ö₂, Ö₃, ..., Ö₁₅ şeklinde kodlanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen çok kriterli karar verme yaklaşımı iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, Bulanık AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenecektir. İkinci aşamada ise bu kriter ağırlıkları dikkate alınarak Bulanık MARCOS tekniği ile alternatifler arasında sıralama yapılacaktır. Böylece, bilişim alanına öğrenci seçiminde bu sıralama esas alınacaktır.

4.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Mevcut literatürde BİLSEM bünyesinde özel yeteneklerin belirlenmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple çalışmanın yapıldığı kurumda karar verici olacak olan görevli bilişim teknolojileri öğretmenin görüşlerinden yola çıkılarak 4 ana kriter ve 14 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler kurum içerisinde kullanılan mevcut ölçek dikkate alınarak karar verici bilişim teknolojileri öğretmeni ile hazırlanmıştır. Belirlenen kriterlerin açıklamaları Tablo 5'te yer almaktadır. Entegre yöntem değerlendirmesinin hiyerarşik görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 5. Uygulamada kullanılan kriterler ve açıklamaları

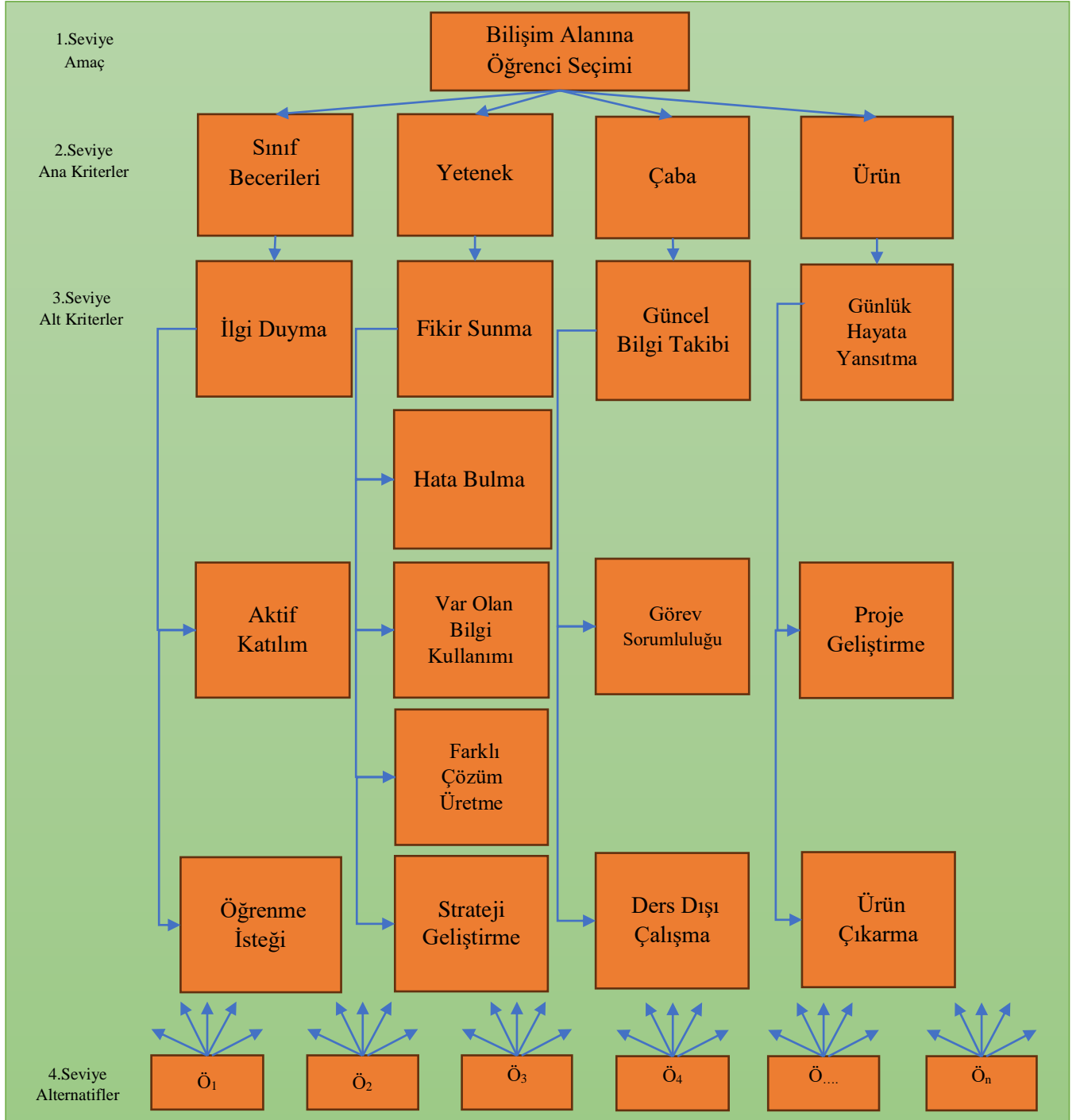
Kriter	Açıklama
Sınıf Becerileri (C ₁)	Öğrencinin sınıf içerisinde göstermiş olduğu davranışları tanımlar.
İlgi duyma (C ₁₁)	Öğrencinin bilişim teknolojileri dersine olan ilgisini tanımlar
Aktif Katılım (C ₁₂)	Öğrencinin sınıf içerisindeki aktif katılımını tanımlar
Öğrenme İsteği (C ₁₃)	Öğrencinin sınıf içerisindeki öğrenme isteğini tanımlar
Yetenek (C ₂)	Öğrencinin bilişim teknolojileri ile ilgili yetenek olarak tanımlanabilecek becerilerini tanımlar.
Fikir Sunma (C ₂₁)	Öğrencinin problemlerin çözümlerine yönelik vermiş olduğu fikirlerin ne kadar isabetli olduğunu tanımlar
Hata Bulma (C ₂₂)	Öğrencinin mevcut problem çözümünde yaşanan hatanın sebebini tespit becerisini tanımlar.
Var olan Bilgi Kullanımı (C ₂₃)	Öğrencinin sahip olmuş olduğu bilgi birikimini kullanma becerisini tanımlar
Farklı Çözüm Geliştirme (C ₂₄)	Öğrencinin mevcut çözüme alternatif üretebilme becerisini tanımlar
Strateji Geliştirme (C ₂₅)	Öğrencinin problem çözümüne yönelik strateji geliştirme becerisini tanımlar
Çaba (C ₃)	Öğrencinin bilişim teknolojileri alanına yönelik kendini geliştirme becerilerini tanımlar.
Güncel Bilgi Takibi (C ₃₁)	Öğrencinin bilişim teknolojileri alanında güncel gelişmelere olan ilgisini tanımlar.
Görev Sorumluluğu (C ₃₂)	Öğrenciye verilmiş olan görevleri tamamlama isteğini tanımlar.
Ders Dışı Çalışma (C ₃₃)	Öğrencinin kurum dışında bilişim teknolojilerine yönelik yapmış olduğu ek çalışmaları tanımlar.

Ürün (C₄) Öğrencinin kazanmış olduğu becerileri ürüne dönüştürme düzeyini tanımlar.

Günlük Hayata Yansıtma (C₄₁) Öğrencinin günlük hayatta karşılaştığı problemlerde kazandığı becerileri kullanma düzeyini tanımlar.

Proje Geliştirme (C₄₂) Öğrencinin kazanmış olduğu becerilere yönelik geliştirmiş olduğu proje düzeyini belirler.

Ürün Çıkarma (C₄₃) Öğrencinin gerek ders içi gerek ders dışı çalışmalarının ürüne dönüşme düzeyini tanımlar.



Şekil 2. Entegre yöntem değerlendirmesinin hiyerarşik görünümü

4.2. Bulgular

Adım 1: 15 farklı öğrenciden oluşan alternatifler, öğrencilerin değerlendirilmesi için belirlenen 4 ana kriter ve 14 alt kriter mevcut değerlendirme ölçeği dikkate alınarak tanımlanmıştır.

Adım 2: Kriterlerin ağırlıklandırılması işlemi için karar vericiler BİLSEM’lerde çalışan 3 bilişim teknolojileri öğretmeni olarak belirlenmiştir. Karar vericilerin aynı görev ve statüde bulunmasından kaynaklı ağırlıkları eşit olarak belirlenmiştir. Karar vericiler tarafından ilk ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Karşılaştırma matrisi oluşturur iken Tablo 3’te yer alan sözel ifadeler kullanılmıştır.

Adım 3: Karar vericilerin yapmış olduğu değerlendirmelerin aritmetik ortalaması alınarak son ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Son ikili karşılaştırma matrisi Tablo 3’te yer alan sözel ifadelere karşılık gelen üçgen bulanık sayılar kullanılarak bulanıklaştırılmıştır.

Adım 4: Bulanıklaştırılmış ikili karar matrisinin tutarlılıkları hesaplanmıştır.

Adım 5: Tüm matrislerde tutarlılık sağlanmasının ardından her bir satırın geometrik ortalaması alınarak durulaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Adım 7: Durulaştırılmış değerler üzerinden kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ana kriter ağırlıkları ve ikili karşılaştırma bilgileri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan kriter ağırlıkları

Ana Kriterler	Karar Verici	C1	C2	C3	C4	Ağırlık
C1	K1	1	1/5	1/4	1/3	0,0986
	K2	1	1/5	1/4	1/3	
	K3	1	1/5	1/4	1/3	
C2	K1	3	1	2	3	0,4458
	K2	3	1	2	3	
	K3	3	1	2	3	
C3	K1	2	1/3	1	1	0,2546
	K2	3	1/3	1	1	
	K3	2	1/4	1	1	
C4	K1	1	1/4	1	1	0,2010
	K2	1	1/3	1	1	
	K3	1	1/3	1/3	1	

Tablo 7. Sınıf becerileri alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan yerel kriter ağırlıkları

C1	Karar Verici	C11			C12			C13			Ağırlık
C11	K1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	0,1996
	K2	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	
	K3	1	1	1	1/3	1/2	1	1/3	1/2	1	
C12	K1	2	3	4	1	1	1	1	1	1	0,4201
	K2	2	3	4	1	1	1	1	1	1	
	K3	1	2	3	1	1	1	1	1	1	
C13	K1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	0,3803
	K2	1	2	3	1	1	1	1	1	1	
	K3	1	2	3	1	1	1	1	1	1	

Tablo 6’da yer alan kriter ağırlıklarına göre “Yetenek (C₂)” en yüksek öneme sahip ana kriter olmuştur. “Sınıf Becerileri (C₁)” ana kriterine ait alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve yerel ağırlıkları Tablo 7’de verilmiştir. Tablo 7’de yer alan kriter ağırlıklarına göre “Sınıf Becerileri (C₁)” ana kriterleri alt kriterlerinden “Aktif Katılım (C₁₂)” alt kriteri en yüksek öneme sahip kriter olmuştur. “Yetenek (C₂)” ana kriterine ait alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve yerel ağırlıkları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Yetenek alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan yerel kriter ağırlıkları

C2	K	C21			C22			C23			C24			C25			Ağırlık
C21	K1	1	1	1	1/3	1/2	1	1/4	1/3	1/2	1/5	1/4	1/3	1/5	1/4	1/3	0,0662
	K2	1	1	1	1/3	1/2	1	1/3	1/2	1	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	
	K3	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	
C22	K1	1	2	3	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/6	1/5	1/4	1/5	1/4	1/3	0,0976
	K2	1	2	3	1	1	1	1/3	1/2	1	1/5	1/4	1/3	1/4	1/3	1/2	
	K3	2	3	4	1	1	1	1/3	1/2	1	1/4	1/3	1/2	1/5	1/4	1/3	
C23	K1	2	3	4	2	3	4	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	2	3	0,1855
	K2	1	2	3	1	2	3	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	
	K3	2	3	4	1	2	3	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1/2	1	
C24	K1	3	4	5	4	5	6	2	3	4	1	1	1	1	2	3	0,3804
	K2	4	5	6	3	4	5	2	3	4	1	1	1	1	2	3	
	K3	4	5	6	2	3	4	2	3	4	1	1	1	1	1	1	
C25	K1	3	4	5	3	4	5	1/3	1/2	1	1/3	1/2	1	1	1	1	0,2702
	K2	4	5	6	2	3	4	1	2	3	1/3	1/2	1	1	1	1	
	K3	2	3	4	3	4	5	1	2	3	1	1	1	1	1	1	

Tablo 8’de yer alan kriter ağırlıklarına göre “Yetenek (C₂)” ana kriterleri alt kriterlerinden “Farklı Çözüm Geliştirme (C₂₄)” alt kriteri en yüksek öneme sahip kriter olmuştur.

“Çaba (C₃)” ana kriterine ait alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve yerel ağırlıkları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9’da yer alan kriter ağırlıklarına göre “Çaba (C₃)” ana kriterleri alt kriterlerinden “Görev Sorumluluğu (C₃₂)” alt kriteri en yüksek öneme sahip kriter olmuştur.

“Ürün (C₄)” ana kriterine ait alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve yerel ağırlıkları Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 9. Çaba alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan yerel kriter ağırlıkları

C3	Karar Verici	C31			C32			C33			Ağırlık
C31	K1	1	1	1	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1	0,1340
	K2	1	1	1	1/5	1/4	1/3	1/4	1/3	1/2	
	K3	1	1	1	1/5	1/4	1/3	1/4	1/3	1/2	
C32	K1	3	4	5	1	1	1	3	4	5	0,6124
	K2	3	4	5	1	1	1	1/4	1/3	1/2	
	K3	2	3	4	1/5	1/4	1/3	1	1	1	
C33	K1	1	2	3	1/5	1/4	1/3	1	1	1	0,2536
	K2	2	3	4	1/4	1/3	1/2	1	1	1	
	K3	2	3	4	1/5	1/4	1/3	1	1	1	

Tablo 10’de yer alan kriter ağırlıklarına göre “Ürün (C₄)” ana kriterleri alt kriterlerinden “Proje Geliştirme (C₄₂)” alt kriteri en yüksek öneme sahip kriter olmuştur.

Tablo 10. Ürün alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan yerel kriter ağırlıkları

C4	Karar Verici	C41			C42			C43			Ağırlık
C41	K1	1	1	1	1/5	1/4	1/3	1/4	1/3	1/2	0,1190
	K2	1	1	1	1/5	1/4	1/3	1/4	1/3	1/2	
	K3	1	1	1	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	
C42	K1	3	4	5	1	1	1	1	2	3	0,5509
	K2	3	4	5	1	1	1	1	2	3	
	K3	4	5	6	1	1	1	1	2	3	
C43	K1	2	3	4	1/3	1/2	1	1	1	1	0,3301
	K2	2	3	4	1/3	1/2	1	1	1	1	
	K3	2	3	4	1/3	1/2	1	1	1	1	

Alt kriterlerin yerel olarak belirlenen kriter ağırlıkları global hale çevirmek için ana kriterlerin ağırlıkları ile çarpılmış Tablo 11’de gösterilmiştir. Tablo 11’de yer alan global ağırlıklara göre en yüksek öneme

sahip alt kriter “Farklı Çözüm Geliştirme (C₂₄)” olurken en az öneme sahip alt kriter “İlgi Duyma (C₁₁)” kriteri olmuştur.

Tablo 11. Alt kriterlerin global ağırlıklarının hesaplanması ve sıralanması

Ana Kriterler	Ağırlık	Alt Kriterler	Yerel Ağırlık	Global Ağırlık	Sıra
C1	0,0986	C11	0,1996	0,0197	14
		C12	0,4201	0,0414	9
		C13	0,3803	0,0375	10
C2	0,4458	C21	0,0662	0,0295	12
		C22	0,0976	0,0435	8
		C23	0,1855	0,0827	5
		C24	0,3804	0,1696	1
		C25	0,2702	0,1205	3
C3	0,2546	C31	0,1340	0,0341	11
		C32	0,6124	0,1559	2
		C33	0,2536	0,0646	7
C4	0,2010	C41	0,1190	0,0239	13
		C42	0,5509	0,1107	4
		C43	0,3301	0,0663	6

Adım 8: Çalışmanın gerçekleştirildiği kurumda görevli bilişim teknolojileri öğretmeni tarafından ÖYG programına geçecek olan öğrencilerin bulanık karar matrisi belirlenen kriterler üzerinden oluşturulmuştur. Matrisin oluşturulması için Tablo 4’te yer alan sözel ifadeler ve üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Adım 9: Hazırlanan karar matrisinde ideal ve anti ideal değerler hesaplanıp karar matrisine eklenerek genişletilmiştir.

Adım 10: Genişletilen karar matrisi kullanılarak normalize matrisi oluşturulmuş ve Tablo 12’de gösterilmiştir.

Adım 11: Normalize matris daha sonra Adım 7’de hesaplanan ağırlıklar üzerinden ağırlıklandırılmıştır.

Adım 12: Ağırlıklandırılmış matrisin satırlarının toplamı hesaplanmıştır. Tablo 13’te gösterilmiştir. Crisp sayısı bulanık olarak hesaplanmıştır (4,24; 9,17; 11,15) olarak hesaplanmıştır. Durulaştırma sonucu 8,68 olarak belirlenmiştir.

Adım 13: Alternatiflerin fayda değerleri hesaplanmıştır. Tablo 13’te gösterilmiştir.

Adım 14: İdeal ve anti ideal çözümlerin hesaplanmıştır. Tablo 13’te gösterilmiştir.

Tablo 12. Genişletilmiş bulanık matris

	C11			C12			C13			C21			C22			C23			C24			C25			C31			C32			C33			C41			C42			C43								
	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u	1	m	u
AID	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1				
Ö1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1				
Ö2	1	1	3	1	3	3	1	3	3	3	3	5	1	1	3	1	3	3	1	1	3	3	3	5	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	1	5	5	7	5	7	7							
Ö3	7	7	9	7	9	9	7	9	9	7	7	9	5	5	7	5	5	7	5	5	7	7	7	9	5	7	7	5	5	7	7	7	9	7	9	9	5	7	7	5	5	7						
Ö4	5	7	7	5	5	7	5	5	7	5	7	7	3	5	5	5	5	7	3	3	5	7	9	9	5	5	7	3	5	5	5	7	7	7	7	9	1	3	3	3	3	5						
Ö5	5	5	7	5	7	7	5	7	7	3	5	5	1	3	3	3	5	5	3	3	5	5	7	7	3	3	5	3	5	5	5	5	7	5	5	7	3	3	5	1	1	3						
Ö6	1	3	3	3	5	5	3	5	5	3	3	5	3	3	5	3	3	5	1	1	3	5	5	7	1	1	3	3	3	5	1	1	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	5					
Ö7	7	7	9	7	9	9	7	9	9	7	7	9	5	7	7	5	7	7	5	7	7	7	9	9	5	7	7	3	5	5	5	7	7	7	9	9	7	9	9	7	7	9						
Ö8	3	5	5	1	1	3	5	5	7	5	7	7	5	7	7	5	7	7	1	3	3	3	3	5	3	3	5	3	3	5	5	5	7	3	5	5	5	5	7	5	7	7						
Ö9	1	3	3	1	1	3	3	3	5	1	1	3	1	3	3	1	3	3	3	3	5	1	1	3	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	5	7	7	3	5	5						
Ö10	5	5	7	5	5	7	7	7	9	7	7	9	7	9	9	7	9	9	7	7	9	5	5	7	5	7	7	5	5	7	5	5	7	7	9	9	3	5	5	3	3	5						
Ö11	5	5	7	3	3	5	7	9	9	5	7	7	5	5	7	5	5	7	5	7	7	3	5	5	5	5	7	3	3	5	5	7	7	7	7	9	7	9	9	7	7	9						
Ö12	3	5	5	3	3	5	5	7	7	5	5	7	5	7	7	5	7	7	3	5	5	1	3	3	3	3	5	3	5	5	5	5	7	3	5	5	5	5	7	5	7	7						
Ö13	3	3	5	1	1	3	5	5	7	1	3	3	3	5	5	3	5	5	3	3	5	3	3	5	1	1	3	1	3	3	1	1	3	1	1	1	7	7	9	7	7	9						
Ö14	5	7	7	5	7	7	7	9	9	7	7	9	7	9	9	7	9	9	7	7	9	5	7	7	5	7	7	3	5	5	7	7	9	7	9	9	7	9	9	5	7	7						
Ö15	7	9	9	7	9	9	5	7	7	5	5	7	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	5	7	7	5	5	7			
ID	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	7	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	7	9			

AID:Anti İdeal Değer , ID: İdeal Değer

Tablo 13. Satır elemanları toplamı, fayda dereceleri, crisp sayısının hesaplanması

	Si			Ki+			Ki-			Ti		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	U
AID	0,11	0,11	0,17	0,01	0,11	0,03	0,64	1,00	1,57			
Ö1	0,11	0,11	0,17	0,01	0,11	0,03	0,64	1,00	1,57	0,65	1,11	1,60
Ö2	0,22	0,29	0,56	0,03	0,29	0,09	1,28	2,55	5,00	1,31	2,84	5,10
Ö3	0,63	0,70	1,10	0,08	0,70	0,19	3,61	6,15	9,87	3,70	6,86	10,05
Ö4	0,44	0,58	0,85	0,06	0,58	0,14	2,53	5,04	7,68	2,59	5,62	7,83
Ö5	0,38	0,50	0,77	0,05	0,50	0,13	2,16	4,36	6,94	2,21	4,86	7,07
Ö6	0,27	0,32	0,62	0,03	0,32	0,11	1,53	2,82	5,59	1,56	3,14	5,70
Ö7	0,62	0,84	1,08	0,08	0,84	0,18	3,56	7,35	9,75	3,64	8,19	9,94
Ö8	0,38	0,50	0,78	0,05	0,50	0,13	2,20	4,39	7,00	2,25	4,89	7,14
Ö9	0,22	0,30	0,53	0,03	0,30	0,09	1,27	2,67	4,81	1,30	2,97	4,90
Ö10	0,60	0,68	1,06	0,08	0,68	0,18	3,45	5,96	9,54	3,53	6,64	9,72
Ö11	0,54	0,68	0,98	0,07	0,68	0,17	3,08	5,94	8,80	3,15	6,61	8,96
Ö12	0,40	0,58	0,80	0,05	0,58	0,14	2,31	5,10	7,24	2,36	5,69	7,37
Ö13	0,34	0,43	0,72	0,04	0,43	0,12	1,96	3,76	6,48	2,01	4,19	6,60
Ö14	0,65	0,83	1,12	0,08	0,83	0,19	3,70	7,28	10,04	3,79	8,11	10,23
Ö15	0,72	0,94	1,22	0,09	0,94	0,21	4,15	8,23	10,94	4,24	9,17	11,15
ID	5,90	1,00	7,63	0,77	1,00	1,29	33,80	8,76	68,71			

AID:Anti İdeal Değer, ID: İdeal Değer

Adım 15: Hesaplanan fayda değerleri, ideal ve anti ideal çözümler durulaştırılmıştır. Tablo 14’te gösterilmiştir.

Adım 16: Durulaştırılan değerler kullanılarak fayda değerleri hesaplanmış ve fayda değerlerine göre sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 14’te gösterilmiştir.

Tablo14’teki sonuçlara göre Ö₁₅ kodlu öğrenci Bilişim Teknolojilerine en yatkın öğrenci olarak belirlenmiştir. Kurum içerisinde belirlenen kapasiteye göre bilişim teknolojileri alanında öğrenci seçimi yapılır iken Ö₁₅ kodlu öğrenciden başlanarak sıralamaya göre seçim yapılabilecektir.

Tablo 14. Alternatiflerin fayda fonksiyonlarının hesaplanması, durulaştırma ve sıralama

	f(Ki+)			f(Ki-)			Durulaştırma ve Sıralama					Sıralama
	l	m	u	l	m	u	f(Ki+)	f(Ki-)	Ki+	Ki-	f(Ki)	
Ö1	0,073	0,115	0,181	0,002	0,013	0,003	0,119	0,010	0,083	1,035	0,373	15
Ö2	0,073	0,115	0,181	0,002	0,013	0,003	0,119	0,010	0,215	2,749	0,988	14
Ö3	0,147	0,294	0,577	0,003	0,034	0,011	0,317	0,025	0,513	6,350	2,288	4
Ö4	0,416	0,709	1,137	0,010	0,081	0,021	0,732	0,059	0,417	5,063	1,827	7
Ö5	0,292	0,581	0,885	0,007	0,066	0,017	0,583	0,048	0,362	4,423	1,595	10
Ö6	0,249	0,502	0,799	0,006	0,057	0,015	0,510	0,042	0,238	3,065	1,101	12
Ö7	0,176	0,325	0,644	0,004	0,037	0,012	0,353	0,027	0,603	7,117	2,573	3
Ö8	0,410	0,846	1,124	0,009	0,097	0,021	0,820	0,070	0,364	4,460	1,608	9
Ö9	0,253	0,506	0,807	0,006	0,058	0,015	0,514	0,042	0,223	2,791	1,005	13
Ö10	0,146	0,307	0,555	0,003	0,035	0,010	0,322	0,026	0,497	6,140	2,212	5
Ö11	0,398	0,687	1,099	0,009	0,078	0,021	0,707	0,057	0,491	5,937	2,143	6
Ö12	0,355	0,684	1,013	0,008	0,078	0,019	0,684	0,057	0,420	4,993	1,804	8
Ö13	0,266	0,588	0,834	0,006	0,067	0,016	0,575	0,048	0,314	3,915	1,410	11
Ö14	0,226	0,433	0,746	0,005	0,049	0,014	0,451	0,036	0,599	7,142	2,581	2
Ö15	0,426	0,838	1,157	0,010	0,096	0,022	0,823	0,069	0,677	8,003	2,893	1

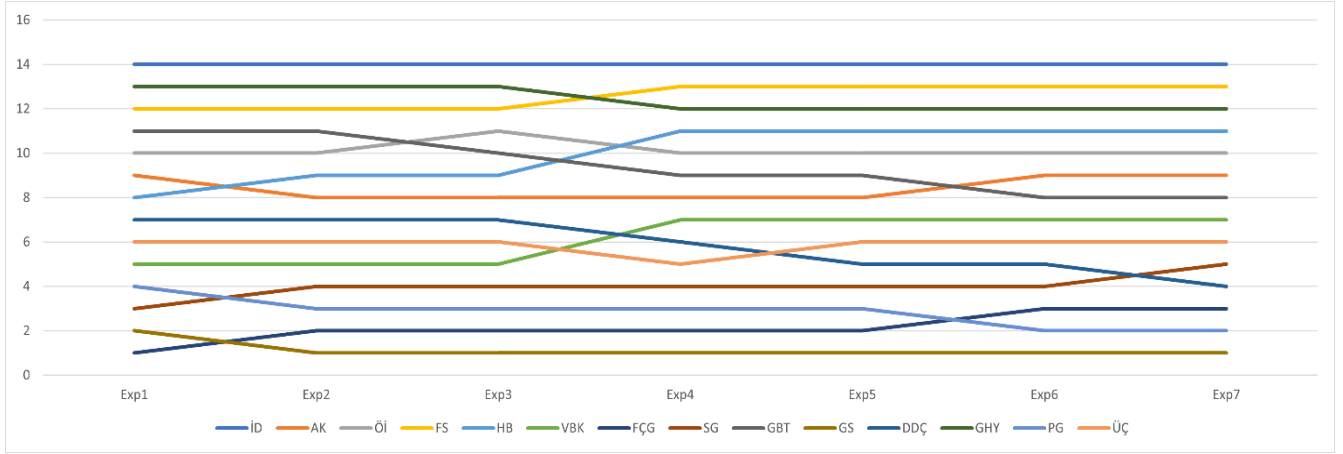
4.3. Yönetimsel Çıkarımlar

Yapılan literatür taraması sonucunda BİLSEM’lerde öğrenim gören öğrencilerin ÖYG programına geçme aşamalarında alan seçiminin dikkatli şekilde yapılması gerektiği gözlemlenmiştir. Öğrencinin bu aşamada alacağı doğru eğitimle geleceğe yönelik becerilerinin daha da gelişmesi kaçınılmaz bir durumdur. Bu çalışmanın amacı da bu probleme çözüm geliştirmek için BİLSEM’de öğrenim gören öğrencilerinin alan becerilerini değerlendirerek alan bazlı öğrenci seçilmesine yardımcı olmaktır. Seçilecek olan öğrencilerin değerlendirilmesinde objektif bir yöntem kullanılması ve belirli kriterlere göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yönüyle problemimiz bir ÇKVY yöntemi olarak tanımlanabilir. Bir ÇKVY probleminin çözümü için kriterler belirlenmeli ve bu kriterlerin önem ağırlıklandırılmalıdır. Bu problemi çözmek için Bulanık AHP yöntemi ile alana yönelik kriterlerin ağırlıkları hesaplanacaktır. Daha sonra ÖYG aşamasına geçen öğrencilerin kriterli Bulanık MARCOS Yöntemi ile değerlendirilerek sıralama işlemi gerçekleştirilecektir. Bulanık MARCOS yöntemi alternatifleri ideal değere olan yakınlıklarına göre sıralamaktadır. Böylelikle öğrencileri bu yöntemle sıralandığında seçilen alana en yatkın olan öğrenci

belirlenmiş olacak, diğer öğrenciler bu noktada sıralanacaktır. Yazın taramasının incelenmesi sonucunda Bulanık AHP ve Bulanık MARCOS yöntemlerinin daha önce kullanıldığı görülmüştür. Fakat eğitim alanında bu yöntemleri beraber kullanan ilk çalışmadır. BİLSEM’lerde yetenek alanı belirlenmesi konusunda yapılan ilk çalışma olma özelliğini de taşımaktadır. Oluşturulan yöntem sayesinde BİLSEM’lerde görev alan öğretmenler alanlarına öğrenci belirlerken bu yöntemi kullanabilecektir. Böylelikle alana en uygun öğrencileri objektif bir şekilde belirleme imkanı bulabilecektir. Bu sayede hem öğrencinin yeteneklerinin daha etkili şekilde geliştirilmesine hem de kurum içerisinde verilecek olan eğitimin verimliliğinin artmasına fayda sağlayacaktır.

4.4. Duyarlılık Analizi

Gerçekleştirmiş olduğumuz Bulanık AHP işlemi sonucunda kriter ağırlıklıları belirlenmiştir. Bu sayede hem hangi kriterlerin kritik öneme sahip olduğu olduğunu hem de kriter ağırlıklarında gerçekleşen küçük değişikliklerin sıralamayı nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Duyarlılık analizi gerçekleştirilirken en yüksek öneme sahip olan “Yetenek” ana kriteri % 5 azaltılmış, oradan eksilen değerler “Çaba” ve “Ürün” kriterlerine sırasıyla %3’ü ve %2’si eklenmiştir. Etkisi en az çıkan “Sınıf Becerileri” kriteri değeri değiştirilmemiştir. Bulanık AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları üzerinden yapılan analiz sonuçları Şekil 2’de grafik olarak gösterilmiştir. Yapılan duyarlılık analizine göre en yüksek ağırlığa sahip olan “Farklı Çözüm Geliştirme” kriteri en fazla iki birim yer değiştirerek en fazla üçüncü sıraya gerilemiştir. “İlgi Duyma” kriteri değişikliklerden etkilenmeyen tek kriter olup en düşük öneme sahip olarak kalmıştır. Diğer kriterleri incelediğimizde en fazla yer değişimi üç birim olarak gözlemlenmiştir. Kriter ağırlıklarının değişime karşı hassasiyetlerinin düşük olduğu görülmüştür. Duyarlılık analizi ile elde edilen sıralamalar ve kriter ağırlıkları arasındaki korelasyonu incelemek amacıyla Spearman’ın korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Bulanık AHP yönteminde kriter ağırlıkları ile sıralamalar arasında tek yönlü bir ilişki oluşmaktadır. Sıralamalar kriter ağırlıklarına göre büyükten küçüğe doğru gerçekleştirilir. Spearman korelasyon katsayısı tek yönlü ilişkileri belirlemede daha ideal bir katsayıdır. Hesaplama yapılırken ilk sıralamalar ile duyarlılık analizi sonucu oluşan diğer sıralamalar karşılaştırılmıştır. Katsayı değerleri 0,97 ile 0,74 arasında değişmekte ortalama 0,85 olarak hesaplanmış kriterler değerleri ile sıralamaları arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda önerilen sıralamanın güvenilir olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3. Bulanık AHP duyarlılık analizi

5. Sonuç

Türkiye’de üstün yetenekli tanısı almış olan öğrencilere yönelik eğitim veren kurumların başında bilim ve sanat merkezleri gelmektedir. Bilim ve sanat merkezlerinde eğitim sırası ile 5 program uygulanmaktadır. ÖYG programına geçen öğrenciler özel yetenekleri üzerine eğitim almaktadır. Bu sebeple ÖYG programına geçen öğrencilerin yetenek alanlarına doğru bir şekilde karar verilmesi hem kurum verimliliği açısından hem de öğrencinin eğitimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bilim ve sanat merkezlerinde görevli öğretmenlerin, öğrencilerin hangi yetenek alanında eğitim alması gerektiğine karar verme problemini çözmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada bu problemi özel yetenek alanını belirlemek için bir ÇKVV yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntem her yetenek alanının gerektirdiği kriterleri dikkate almak öğrencileri alan bazında sıralamaya ve yerleştirmeye yönelik geliştirilmiştir. Öğrenci değerlendirmeleri belirsizlikler içerebilmektedir. Çünkü değerlendirmeler kesin bir sayısal değerler değil sözel ifadelerle belirtilmektedir. Bu tür belirsizlikleri çözmek için bulanık küme teorisinden faydalanılmaktadır. Bu çalışmada ÇKVV yöntemlerinden olan AHP ve MARCOS yöntemlerinin Bulanık Küme Teorisi ile genişletilmiş halleri olan Grup Karar Vermeye Dayalı Bulanık AHP ve Bulanık MARCOS yöntemini entegre şekilde kullanarak, özel yetenek alanlarını belirlemeye yönelik bir yaklaşım önerilmiştir.

Bu çalışma Türkiye’de yer alan bir bilim ve sanat merkezindeki ÖYG programına geçen 15 öğrenci üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bilişim Teknolojileri alanına yönelik öğrenci sıralaması yapılmıştır. Uygulamanın ilk bölümünde bilişim teknolojileri alanına yönelik kriterler kurumda çalışan bilişim teknolojileri öğretmeni tarafından belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları için grup karar verme temelli Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Bilsem bünyesinde çalışan üç farklı öğretmen tarafından değerlendirilen karar matrislerine Bulanık AHP yöntemi uygulanarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Belirlenen kriter ağırlıklarının tutarlılığını ve güvenilirliğini sunmak için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda, hesaplanan kriter değerleri arasında güçlü pozitif bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Uygulamanın ikinci kısmında, belirlenen kriter ağırlıkları dikkate alarak öğrenciler arasında sıralama gerçekleştirilmiştir. Bu sıralama dikkate alınarak yerleştirme yapılabileceği belirtilmiştir.

Bu çalışma tek bir alan üzerinden gerçekleştirilmiş ve bilişim teknolojileri alanına yönelik öğrenci belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Diğer alanlar için aynı kriterler dikkate alınarak veya yeni kriterler belirlenip aynı işlemler takip edildiğinde nihai yerleştirme yapılabilir. Böylelikle önerilen yöntemin uygulanabilirliği, gerçek bir vaka üzerinde ortaya konmuştur. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, aynı kriterler üzerinden veya yeni belirlenecek kriterler üzerinden farklı ÇKKV yöntemleri uygulanarak analiz gerçekleştirilebilir. Kriterlerin, çalışma yapılacak olan yetenek alanının özellikleri dikkate alınarak düzenlenmesi çalışmaların etkililiğini ve güvenilirliğini daha da artıracaktır. Kriter ağırlıkları için Bulanık Analitik Ağ Süreci (Bulanık ANP) ve alternatiflerin sıralanması için Bulanık Teknik Seçim ve Sıralama (Bulanık TOPSİS) yöntemi kullanılabilir. Ayrıca, sözel ifadeler için Pisagor bulanık kümeler, Fermatean bulanık kümeler gibi daha geniş kapsamlı kümelerle tercih edilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkıda bulunmuştur.

Kaynakça

- Başar Daz T. Bilsem'e devam eden ÖYG ve BYF programında eğitim gören üstün yetenekli öğrencilerin kimya dersine yönelik görüşlerinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:33-34, Erzurum,Türkiye, 2018.
- Baykoç Dönmez N. Özel gereksinimli çocuklar ve özel eğitim; Ankara: Eğiten Kitap Yayıncılık; 2012.
- Boral S., Chaturvedi SK., Howard IM., McKee K., Naikan VNA. An integrated approach for fuzzy failure mode and effect analysis using fuzzy ahp and fuzzy marcos. 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) 14-17 Aralık 2020; sayfa no: 395–400, Singapur.
- Buckley JJ. Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy Sets and Systems 1985; 17(3): 233–247.
- Büyüközkan G., Göçer F. Application of a new combined intuitionistic fuzzy MCDM approach based on axiomatic design methodology for the supplier selection problem. Applied Soft Computing 2017; 52: 1222–1238.
- Büyüközkan G., Göçer F., Feyzioğlu O. Cloud computing technology selection based on interval-valued intuitionistic fuzzy MCDM methods. Soft Computing 2018; 22(15): 5091–5114.
- Büyüközkan G., Havle CA., Feyzioğlu O. An integrated SWOT based fuzzy AHP and fuzzy MARCOS methodology for digital transformation strategy analysis in airline industry. Journal of Air Transport Management 2021; 97: 102142.

- Chen VYC., Lien HP., Liu CH., Liou JJH., Tzeng GH., Yang LS. Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Applied Soft Computing* 2011; 11(1): 265–275.
- Çiçekli UG., Karaçizmeli A. Bulanık analitik hiyerarşi süreci ile başarılı öğrenci seçimi: Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi örneği. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi* 2013; 4(1): 71–95.
- Davaslıgil Ü. Türkiye’de üstün zekâlı çocukların eğitimi ile ilgili bir model geliştirme projesi 2015. <https://www.tuzyeksav.org.tr/wp-content/uploads/2015/09/davasligil-u.-turkiyede-ustun-zekali-cocuklarin-egitimi-ile-ilgili-bir-model-gelistirme-projesi.pdf> Erişim Tarihi: 14 Mart 2024 .
- Do, QH., Evaluating lecturer performance in Vietnam: An application of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods. *Heliyon* 2024; 10(11): e30772
- Gültaş İ. Endüstri mühendisliği eğitiminde matematik ders içeriklerinin belirlenmesine bulanık AHP yöntemi ile çözüm önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- Karakış E. Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS ile bütünleşik karar destek modeli önerisi: Özel okullarda öğretmen seçimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2019; (53): 112–137.
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB). Bilim ve sanat merkezleri yönergesi 2023. https://orgm.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2023_12/19153952_milliegitimbakanligibilimvesanatmerkezleriyonergesiveekleri.pdf Erişim Tarihi: 22 Mart 2024 .
- Özdemir A., Bozkurt DÜ. Bilsen öğrencilerinin seçmeli atölyelerinin çok kriterli karar verme yöntemi ile belirlenmesi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2020; 8(1): 285–295.
- Öztürk A., Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N. Nakliye firması seçiminde bulanık ahp ve bulanık topsis yöntemlerinin karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 2008; 25(2): 785–824.
- Saaty TL. *The analytic hierarchy process: Planning, Priority Setting Resource Allocation*, New York: McGraw-Hill 1980; 41(11): 1073-1076.
- Şahin F., Kargın T. Sınıf öğretmenlerine üstün yetenekli öğrencilerin belirlenmesi konusunda verilen bir eğitimin öğretmenlerin bilgi düzeyine etkisi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi* 2013; 14(02): 1–15.
- Sharma S., Seema RS., Sunita J. Assessing the relevance of an Indian undergraduate civil engineering programme: a fuzzy analytical hierarchy process approach. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning* 2024.
- Singh V., Kumar N., Singh S., Kaul M., Gupta AK., Kapur PK. Assessment of artificial intelligence-based digital learning systems in higher education amid the pandemic using analytic hierarchy. *International Journal of System Assurance Engineering and Management* 2024; 15: 4069-4084.
- Stanković M., Stević Ž., Das DK., Subotić M., Pamučar D. A new fuzzy marcos method for road traffic risk analysis. *Mathematics* 2020; 8(3): 457.

- Stević Ž., Pamučar D., Puška A., Chatterjee P. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering* 2020; 140: 106231.
- Wang H., Wu J., Muhedaner M., Maihemuti S. College students online education evaluation through SWOT analysis during covid-19. *Ieee Access* 2022; 10: 88371-88385.
- Wu P., Zhao GY., Li Y. Green mining strategy selection via an integrated swot-pest analysis and fuzzy ahp-marcos approach. *Sustainability* 2022; 14(13): 7577.

Bayburt İli ve Çevresinde Bulunan İçme Suyu Kaynaklarının Kalitesinin Değerlendirilmesi

Ümit YILDIRIM^{1*}, Onur GÜVEN²

¹Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, 69000, Bayburt

²Bayburt Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, 69000, Bayburt

¹<https://orcid.org/0000-0002-7631-7245>

²<https://orcid.org/0000-0001-5608-7633>

*Sorumlu yazar: umityildirim@bayburt.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.08.2024

Kabul tarihi: 21.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Kaynak suyu

İçme suyu

Su kalitesi

CBS

Bayburt

ÖZ

Bayburt il merkezi ve çevresini kapsayan bu çalışmada, doğal içme suyu kaynaklarının kalitesi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda iki farklı dönemde (kurak dönem; Eylül 2023 ve yağışlı dönem; Mayıs 2024) su numunesi alınarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kaynak sularının hem fiziksel hem de kimyasal içerikleri analiz edilerek çeşitli yöntemlerle (Piper ve Gibbs diyagramı) fasiyes ve köken özellikleri belirlenmiştir. Piper diyagramına göre her iki dönem su numunelerinin tamamı “kalsiyum-magnezyum-bikarbonat tipi” fasiyesindedir. Suyun bileşimine etki eden en büyük faktörün su-kayaç etkileşimi olduğu Gibbs diyagramı ile ortaya konmuştur. Kaynak sularının sulama amaçlı kullanılabilirliği, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramları ile yorumlanmıştır. İncelenen kaynak sularının tümü sulama suyu olarak kullanılabilir özelliktedir. Suların kaliteleri Su Kalitesi İndeksi (WQI) ve Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI) kullanılarak karakterize edilmiştir. WQI yöntemine göre doğal kaynak suları “mükemmel su”, “iyi su” ve “kötü su” olmak üzere üç sınıfa ayrılırken, HEI değerlerine göre “düşük kirlilik”, “orta kirlilik” ve “yüksek kirlilik” olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Kaynak suları Türk Standardı (TS 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen içme suyu standartlarıyla da karşılaştırılmıştır. Bazı numunelerin nitrat, florür, arsenik ve bor değerleri standart değerlerin üzerinden olup halk sağlığı açısından olumsuz etkileri nedeniyle içme amacıyla kullanılması önerilmemektedir.

Evaluation of the Quality of Drinking Water Resources in Bayburt Province and Its Surroundings

Research Article

Article History:

Received: 17.08.2024

Accepted: 21.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Spring water

Drinking water

Water quality

GIS

Bayburt

ABSTRACT

This study evaluated the quality of natural drinking water resources for the Bayburt city center and its surroundings. In this context, water samples were taken in two different periods (dry period, September 2023, and rainy period, May 2024) and evaluated separately. The spring waters' physical and chemical contents were analyzed, and their facies and origin properties were determined using various methods (Piper and Gibbs diagrams). According to the Piper diagram, the water samples in both periods were identified as the “calcium-magnesium-bicarbonate type” facies. The Gibbs diagram revealed that the most significant factor affecting the composition of the water is the water-rock interaction. The US Salinity Laboratory and Wilcox Diagrams interpreted the spring waters' usability for irrigation purposes. All of the examined spring waters can be used as irrigation water. The water qualities of these springs were identified using the Water Quality Index (WQI) and Heavy Metal Assessment Index (HEI). According to the WQI method, natural spring waters

are divided into three classes as “perfect water”, “good water” and “bad water”, while according to HEI values, they are divided into three classes as “low pollution”, “medium pollution” and “high pollution”. Spring waters were also compared according to drinking water standards determined by the Turkish Standard (TS 266) and the World Health Organization (WHO). Some samples have nitrate, fluoride, arsenic, and boron values above the standard values and are not recommended for drinking due to their negative effects on public health.

To Cite: Yıldırım Ü., Güven O. Bayburt İli ve Çevresinde Bulunan İçme Suyu Kaynaklarının Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 694-719.

1. Giriş

Kaynaklar, havzalarda güvenilir su sağlama noktasında önemli rol oynayan, içme-kullanma amacıyla yararlanılan yeraltı suyu formlarıdır (Nguyet ve Goldscheider, 2006). Bu suların mineral bileşimleri, jeolojik oluşumlara ve antropojenik etkilere bağlıdır (Dumarı ve ark., 2021). Kaynak sularının kalitesi, suyun geçtiği jeolojik ortamın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre değiştiği için önemli bir evresel gösterge olarak kabul edilmektedir (Jasik ve ark., 2017). Su kalitesi, suyun içilebilirliğini, insan temasının güvenliğini, ekolojik etkileri, endüstriyel alanda ve sulamada kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla değerlendirilmektir (Chauhan ve ark., 2020). Kaynaklardan elde edilen sular, yüzey sularına göre nispeten daha kaliteli olup (Ghanem ve ark., 2021) nüfus artışı, insan müdahaleleri, iklim değişikliği gibi faktörler bu suları hem miktar hem de kalite açısından olumsuz etkilemektedir (Pant ve ark., 2018).

Küresel ölçekte yaklaşık bir milyar insan güvenli içme suyuna ulaşmakta sıkıntı çekmektedir (Shigut ve ark., 2017). Özellikle gelişmekte olan ülkelerin kırsal bölgelerinde güvenli içme suyu olarak daha çok yeraltı suyu kaynakları ön plana çıkmaktadır (Shigut ve ark., 2017). Bununla birlikte küresel kentsel nüfusun yaklaşık %50’sinin yeraltı suyuna, kalanın ise yüzey suyuna bağımlı olduğu tahmin edilmektedir (UNESCO, 2022). Yeraltı sularının bu kadar tercih edilebilir olmasının en büyük nedenleri arasında arıtmaya daha az ihtiyaç duyulması ve biyolojik kirliliğin daha az olması gösterilmektedir (Appelo ve Postma, 2005). Bununla birlikte yapılan çalışmalar tatlı suya erişimin en büyük küresel sorunlarından biri olacağını göstermekte olup, bu yüzyılın ortalarında muhtemelen 2 ile 7 milyar arasında insan su kıtlığı olan ülkelerde yaşıyor olacaktır (Appelo ve Postma, 2005; Salehi, 2022; Carbon, 2024). Bu risk karşısında tatlı suların geniş potansiyeli ve onun sürdürülebilir bir şekilde yönetilme ihtiyacı göz ardı edilemeyecek bir konu olmaktadır (UNESCO, 2022).

Bayburt İli’nde içme-kullanma amaçlı kullanılan sular, farklı bölgelerdeki çeşitli kaynak sularından temin edilmektedir (Çevre Durum Raporu, Bayburt 2024). Bayburt İli’nin Aydıntepe İlçe’sinin %20’si kuyu sularından, %80’i kaynak suyundan, Arpalı, Gökçedere beldeleri ve Demirözü belediyesi ise sularının tümünü kaynak sularından sağlamaktadır (Çevre Durum Raporu, Bayburt 2024). Bayburt İli’nde sulama amaçlı kullanılan suların büyük çoğunluğu yüzey sularından temin edilmekte olup yeraltı ve kaynak suları da kullanılmaktadır. Bölgede genellikle yüzey suyu (Çoruh Nehri ve yan kolları) kalitesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yeraltı sularının kalitesine yönelik çalışmalar sınırlı sayıda

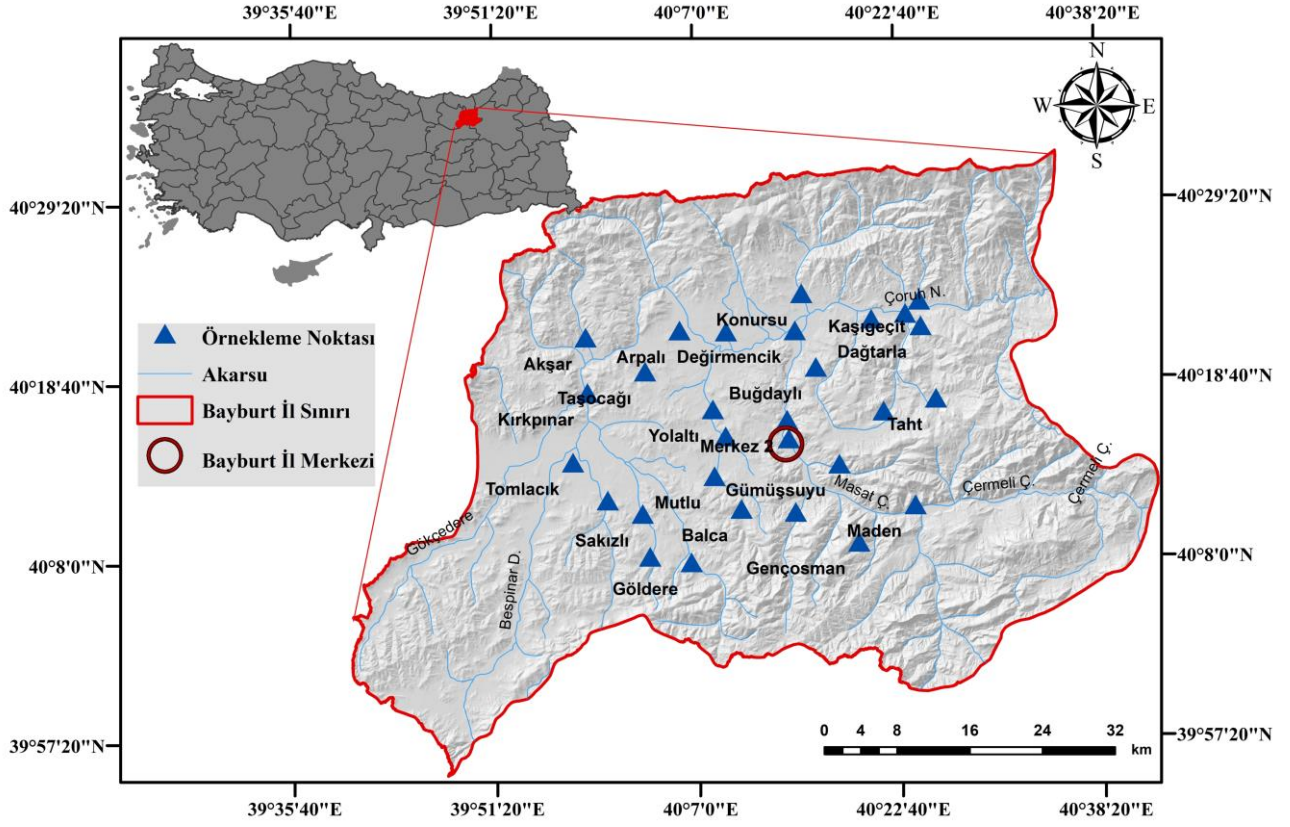
olup (Gültekin ve Dilek 2005; Sipahi ve Uslu, 2016; Semiz ve ark., 2021; Fırat Ersoy ve Hatipoğlu Temizel, 2022) bu çalışma literatüre önemli katkı sunacaktır.

Bu kapsamda Bayburt ili merkezinden 2 adet ve il merkezi civarında bulunan 27 köyden 27 adet olmak üzere içme suyu kaynağı olarak kullanılan toplamda 29 adet çeşme, pınarlardan (Şekil 1) yağışlı ve kurak dönemi temsil eden iki farklı dönemde su örnekleri alınarak fiziko-kimyasal değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca su kalitesi değerlendirmeleri de yapılarak içme suyu kullanımını açısından irdelenmiştir.

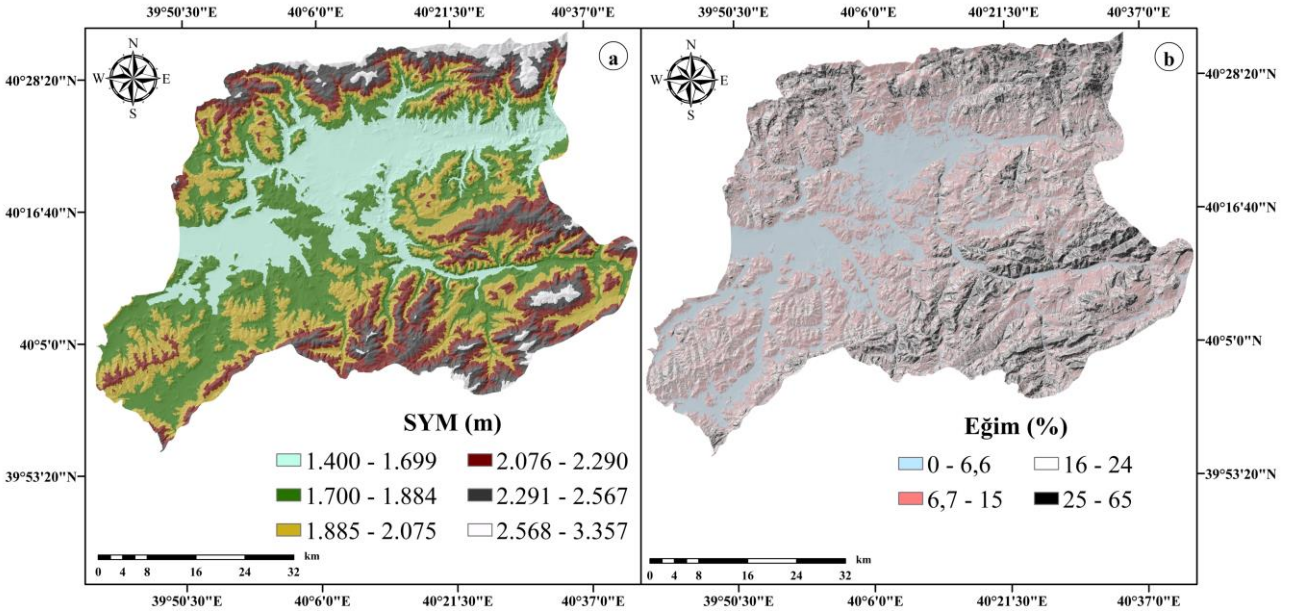
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda yer alan çalışma alanının sınırlarını batıda Gümüşhane İli, kuzeyde Trabzon ile Rize İlleri, doğuda Erzurum İli ve güneyde Erzincan İli oluşturmaktadır. Çalışma alanı 40°33'–39°52' kuzey enlemleri ile 40°42'–39°37' doğu boylamları arasında (Şekil 1) olup, Türkiye'nin en büyük akarsu havzalarından biri olan Çoruh Nehri Havzası içerisinde yer almaktadır. Engebeli bir araziye sahip olan Bayburt İli'nin merkezi ova niteliği taşımaktadır. Bayburt Ovası, kuzeyinde Soğanlı (3.395 m), güneyinde Otlukbeli (2, 976 m), doğusunda Mescit (3, 239 m) ve batısında Giresun (3,107) dağları ile çevrilmiştir (Yazıcı, 1995). Yaklaşık 3,600 km² yüz ölçümüne sahip çalışma alanının en yüksek noktası 3,357 m, en alçak noktası ise 1,400 m (Şekil 2a) olup eğimi %0 ile %65 arasında (Şekil 2b) değişmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve örnekleme noktaları (yerleşim yerleri).



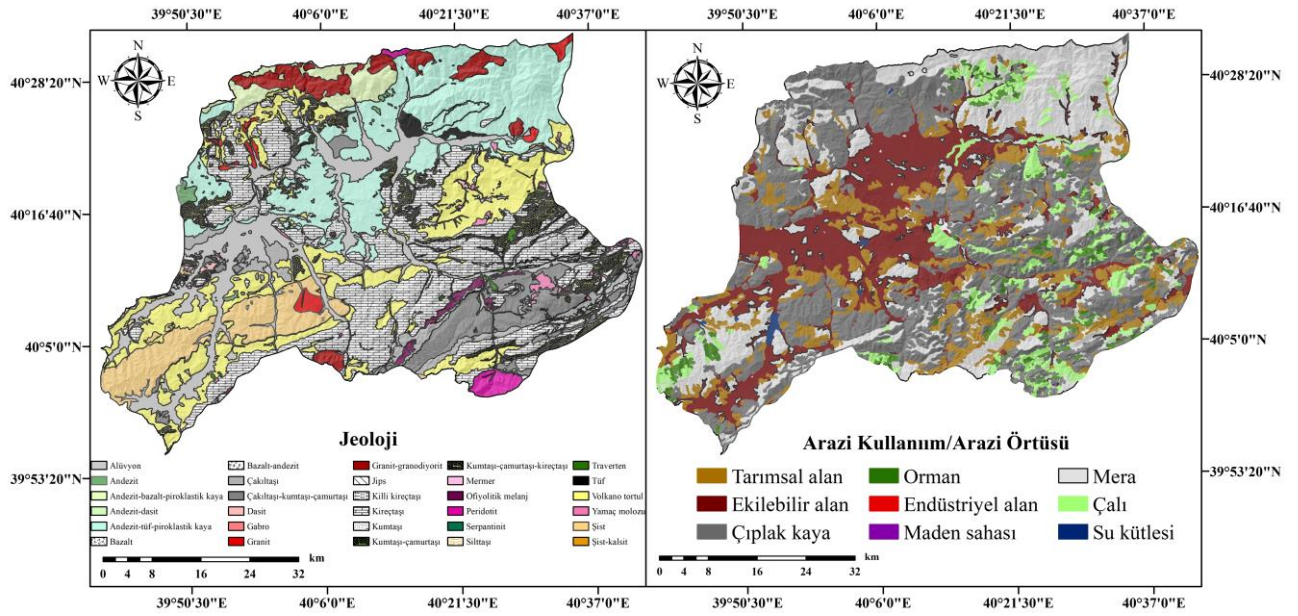
Şekil 2. Çalışma alanının (a) Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve (b) eğim haritası

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en uzun, akış katsayısı açısından Türkiye'nin en hızlı üçüncü akarsuyu olan Çoruh Nehri Bayburt İl sınırları içerisindeki Mescit Dağı'ndan kaynaklanmaktadır (Yıldırım, 2021). Çoruh Nehri ve yan kolları özellikle sulama olmak üzere enerji üretiminde de yoğun olarak kullanılmaktadır.

Karakteristik olarak geçiş iklimine sahip olan çalışma alanı Karadeniz ve karasal iklim özelliklerini yansıtmaktadır. Bu bölgede kışlar oldukça soğuk ve yağışlı (çoğunlukla kar yağışı), yazları serin ve kurak geçmektedir. Ölçüm periyodu 1959–2023 olan meteorolojik verilere göre Bayburt ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 7,1 °C, ortalama yıllık toplam yağışı 449,9 mm’dir (MGM, 2024).

Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarına göre 2023 yılı itibariyle Bayburt İl nüfusu 86.047’dir (TUİK, 2024). Bölgenin gerek iklimsel gerekse topografik özelliklerinden dolayı ekonomi, tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Herhangi büyük bir endüstriyel kuruluşun olmadığı şehirde Bayburt’a özgü olan Bayburt taşı çıkarma ve işleme tesisleri bulunmaktadır. Bölgeye ulaşım yalnızca karayolu ile sağlanmaktadır.

Bayburt İli tektonik birlikler esas alındığında Doğu Pontid Kuşağında yer almaktadır (Ketin, 1959). Çalışma alanı temel olarak altı litolojik birimden oluşmaktadır (Şekil 3a). Bunlar; karbonatlı, metamorfik, ofiyolitik, plütonik, tortul ve volkanik kayalardır. Tortul kayaların büyük bir kısmını Eosen yaşlı volkano-tortul kayalar oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki en yaşlı birim Devoniyen–Karbonifer yaşlı metamorfik kayalardır (Keskin ve ark., 1989). Metamorfik kayalara sokulum yapan plütonik kayalar diğeri bir birimi oluşturmaktadır (Keskin ve ark., 1989). Açısız uyumsuzluk ile metamorfik kayaların üzerinde karbonatlı kayalar yer almaktadır (Keskin ve ark., 1989). Bayburt İli’nde yer alan volkanik kayaları andezit, bazalt, olivin bazalt, kuvars diyorit porfir ve tonalit porfir gibi kayalar oluşturmaktadır (Keskin ve ark., 1989). Bu bölgede geniş alana yayılan sedimanter kayalar ile birlikte yer yer ofiyolit kayalar (ofiyolitik melanj) gözlenmektedir (Keskin ve ark., 1989; MTA, 2002a; MTA, 2002b). Özellikle Bayburt İli’nin güneyin kesiminde yüzlek veren ofiyolitik melanjlar (Otlukbeli melanjı) karbonatların üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Arslan ve ark., 2005). Melanj, karakteristik olarak radyolarit, çört, kireçtaşı, serpantin, silttaşı, spilitleşmiş bazalt ve keratofirleşmiş andezit bloklarından oluşmaktadır (Van ve Yalçınalp, 2010).



Şekil 3. Çalışma alanının (a) jeoloji (MTA, 2002) ve (b) CORINE arazi kullanım/razi örtüsü sınıfları haritası (EEA, 2018)

Çalışma alanına ait arazi kullanım/razi örtüsü (LULC) verileri Corine (EEA, 2018) veri tabanından temin edilmiştir. Veriler CBS ortamında ArcGIS 10.4 yazılımı aracılığıyla çalışma alanı sınırlarına entegre edilmiştir. Bu LULC katmanları kendi aralarında gruplandırılarak toplamda 12 adet LULC sınıfı oluşturulmuştur (Şekil 3b). Alansal olarak en geniş yayılımı gösteren LULC sınıfını 1046 km² ile “mera” oluşturmaktadır. Meraları takiben toprak oluşumunun gözlenmediği ve 959 km² alana sahip “çıplak kaya” sınıfı gelmektedir. Bayburt İli’nde ekonomik faaliyetin başında tarım ve hayvancılık gelmektedir (Birinci, 2013). Bu bakımdan alansal büyüklük olarak 3. ve 4. LULC sınıfını “ekilebilir (792 km²) ve tarımsal alan (455 km²)” oluşturmaktadır. Diğer LULC sınıfları ise sırasıyla; çalı (199 km²), orman (111 km²), yerleşim yeri (26 km²), su kütlesi (7,6 km²), maden sahası (3,5 km²), endüstriyel alan (2,1 km²) şeklindedir.

2.2. Örneklem ve Analiz

Bu çalışma kapsamında kurak (Eylül 2023) ve yağışlı (Mayıs 2024) mevsimleri temsil edecek şekilde iki farklı dönemde su numunesi alımı gerçekleştirilmiştir. İki farklı dönemde Bayburt ili merkezi ve civar köylerinde içme suyu kaynağı olarak kullanılan 29 farklı kaynak suyundan (çeşme ya da pınar) (Şekil 1) toplamda 58 adet su numunesi alınmış ve konumları GPS aracılığıyla kaydedilmiştir. Bu numunelerin sıcaklık, pH, Eh, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) gibi fiziksel parametreleri arazide (yerinde) WTW marka 3430 model multiparametre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin majör anyon-kasyon (HCO₃⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, SO₄⁻² F, Na, K, Ca ve Mg) ve iz element (Ba, Cr, Cu, Ni, Sb, As, Fe, Mn ve Zn) analizleri ise Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan VİTLAB marka dijital büret, Merck marka Prove 100 model spektrofotometre ve Agilent marka 7800 model ICP-MS cihazları ile gerçekleştirilmiştir.

Su örneklerinin fasiyeslerini belirlemek amacıyla Piper Diyagramından (Piper, 1944), su kimyasını kontrol eden ana mekanizmaları belirlemek amacıyla Gibbs Diyagramından (Gibbs, 1970), suların sulama amacıyla kullanılabilirliklerini sınıflamak amacıyla ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (USSLS, 1954) ile Wilcox Diyagramından (Wilcox, 1948) yararlanılmıştır.

Kaynak sularının içilebilirlik düzeylerini belirlemek ve kalitelerini karakterize etmek için Su Kalitesi İndeksi (WQI) ve Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI) kullanılmıştır. Bununla birlikte Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2022) ve Türk Standardı (TS 266, 2005) tarafından belirlenen içme suyu sınır değerleri referans alınarak sınır değeri aşan parametreler belirlenmiştir.

WQI, her bir su kalitesi parametresini inceleyerek içme amaçlı genel su kalitesini yorumlamak için etkili bir araç olarak kullanılmıştır (Adimalla, 2019). Bu çalışmada, Ulusal Sanitasyon Vakfı (NSF) tarafından geliştirilen WQI kullanılmaktadır (Brown ve ark., 1970). WQI hesaplaması dört adımda gerçekleşmekte olup parametrelerin seçimi ve önem derecesine göre ağırlıklandırılmaları yapıldıktan sonra hesaplama sürecine başlanmaktadır. Çalışma kapsamında indekste kullanılmak üzere pH, TDS, Na, TH, Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻ ve F⁻ parametreleri seçilmiş olup 2 ile 5 arasında ağırlık atanmıştır (Tablo 1). Bu parametreler, verilerin mevcudiyetine ve insan tüketimi için uygun su kalitesinin tanımlanmasındaki göreceli önemlerine göre seçilmiş olup literatürde ağırlıklar en önemli parametreler için 5, en düşük öneme sahip parametreler için ise 1 olarak kullanılmaktadır (Chung ve ark., 2015; Adimalla, 2019; Aydın ve ark., 2020; Aly ve ark., 2024). İlk adımda göreceli ağırlıklar hesaplanmaktadır (Denklem 1).

$$Wi = wi \div \sum_{i=1}^n wi \quad (1)$$

Burada; Wi göreceli ağırlık, wi her parametrenin ağırlığı ve n ise parametre sayısıdır. İkinci adımda her bir su numunesinin derişimi içme suyu standardına bölünerek 100 ile çarpılmaktadır (Denklem 2). İçme suyu standart değerleri için WHO (2022) referans alınmıştır.

$$Qi = (Ci \div Si) \times 100 \quad (2)$$

Burada; Qi kalite derecelendirmesi, Ci her bir su örneğindeki her bir kimyasal parametrenin mg/L cinsinden derişimi ve Si ise WHO tarafından belirlenen içme suyu standart değeridir. Üçüncü adımda ise su kalitesi alt indeksi Denklem 3 ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan Sli kullanarak her bir örneğin WQI değeri Denklem 4 ile bulunmaktadır (Tablo 1).

$$Sli = Wi \times Qi \quad (3)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n Sli \quad (4)$$

Burada; Sli su kalitesi alt indeksi, Qi kalite derecelendirmesi olup n ise parametre sayısıdır.

Su örneklerindeki ağır metal seviyelerini değerlendirmek için niceliksel bir ölçüm olan (Badeenezhad ve ark., 2023) HEI yöntemi Denklem 5’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$HEI = \sum_{i=1}^n H_c/H_{mac} \quad (5)$$

HEI yönteminde kullanılmak üzere Ba, Cr, Cu, Ni, Sb, As, Fe, Mn ve Zn parametreleri seçilmiştir. Denklemde verilen H_c parametrenin örnekteki derişimi ($\mu\text{g/L}$) olup H_{mac} ise parametrenin WHO’ya göre kabul edilebilir maksimum derişimidir ($\mu\text{g/L}$) (Edet ve Offiong, 2002).

Tablo 1. Su kalitesi indeksi (WQI) hesaplamalarında kullanılan kimyasal parametreler ve ağırlık (W_i) değerleri.

No	Parametre	WHO	Birim	Ağırlık (W_i)	Bağıl Ağırlık (W_i)
1	pH	6,5-8,5		4	0,137931
2	TDS	600	mg/L	4	0,137931
3	Na+	200	mg/L	3	0,103448
4	TH	300	mg/L	2	0,068966
5	Cl-	250	mg/L	3	0,103448
6	SO4-2	250	mg/L	4	0,137931
7	NO3-	50	mg/L	5	0,172414
8	F	1,5	mg/L	4	0,137931
Toplam				29	1,000000

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Su Kimyası

Çalışma alanındaki suların sıcaklığı kurak dönemde 9,9–22,4°C arasında değişirken, yağışlı dönemde 8,7–14,4°C arasında değişmektedir (Tablo 2). Yağışlı dönemde düşüş gösteren su sıcaklığı çalışma alanının farklı yerlerinde yüksek değerler sergilemektedir (Şekil 4a ve Şekil 4b). Soğuk geçen aylar ve kar erimelerine bağlı olarak yağışlı dönem su numunelerinin sıcaklıkları daha düşüktür. Kurak döneme göre (6,89–8,07) yağışlı dönemde (6,93–7,93) azalış gösteren (Tablo 2) pH’ın dağılım haritası Şekil 4c ve Şekil 4d’de sunulmuştur. Ofiyolitik kayaçlarla etkileşim halinde olan suların pH’ı yüksek olurken karbonatlı kayaçlarla etkileşim halindeki suların pH’ı düşük olmaktadır (Yıldırım ve ark., 2020). Bununla birlikte yağışların pH’ının yediden düşük olduğu (~5,6) göz önünde bulundurulduğunda, yağışlı döneme ait suların pH’nın düşük olduğu gözlenmiştir. Suların Eh değerleri kurak dönemde -62,2 ile 2,7 mV, yağışlı dönemde ise -53,8–0,9 mV (Tablo 2) arasında değişmekte olup çalışma alanındaki dağılımı Şekil 4e ve Şekil 4f’de gösterilmiştir. Sıcaklık ve Eh ile ilişkili olan DO, kurak dönemde 5,0–8,9 mg/L, yağışlı dönemde ise 3,2–10,2 mg/L (Tablo 2) değer aralığında değişirken yağışlı dönemde DO değerleri yüksek seviyededir (Şekil 5a ve Şekil 5b). Soğuk suların sıcak sulara göre daha yüksek çözünüş oksijen tutma kapasitesinin olduğu bilinmekte olup (Sória ve ark., 2020), suların sıcaklığının düşmesinde ise yağış önemli bir yer tutmaktadır (Lakshmi ve Madhu, 2013). Tuzluluğun bir göstergesi olan EC’nin iki örnek dışında düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Yağışlı döneme (Şekil 5c) göre daha yüksek EC değerlerine sahip kurak dönem örneklerinin dağılımı (Şekil 5d) verilmiş olup iki

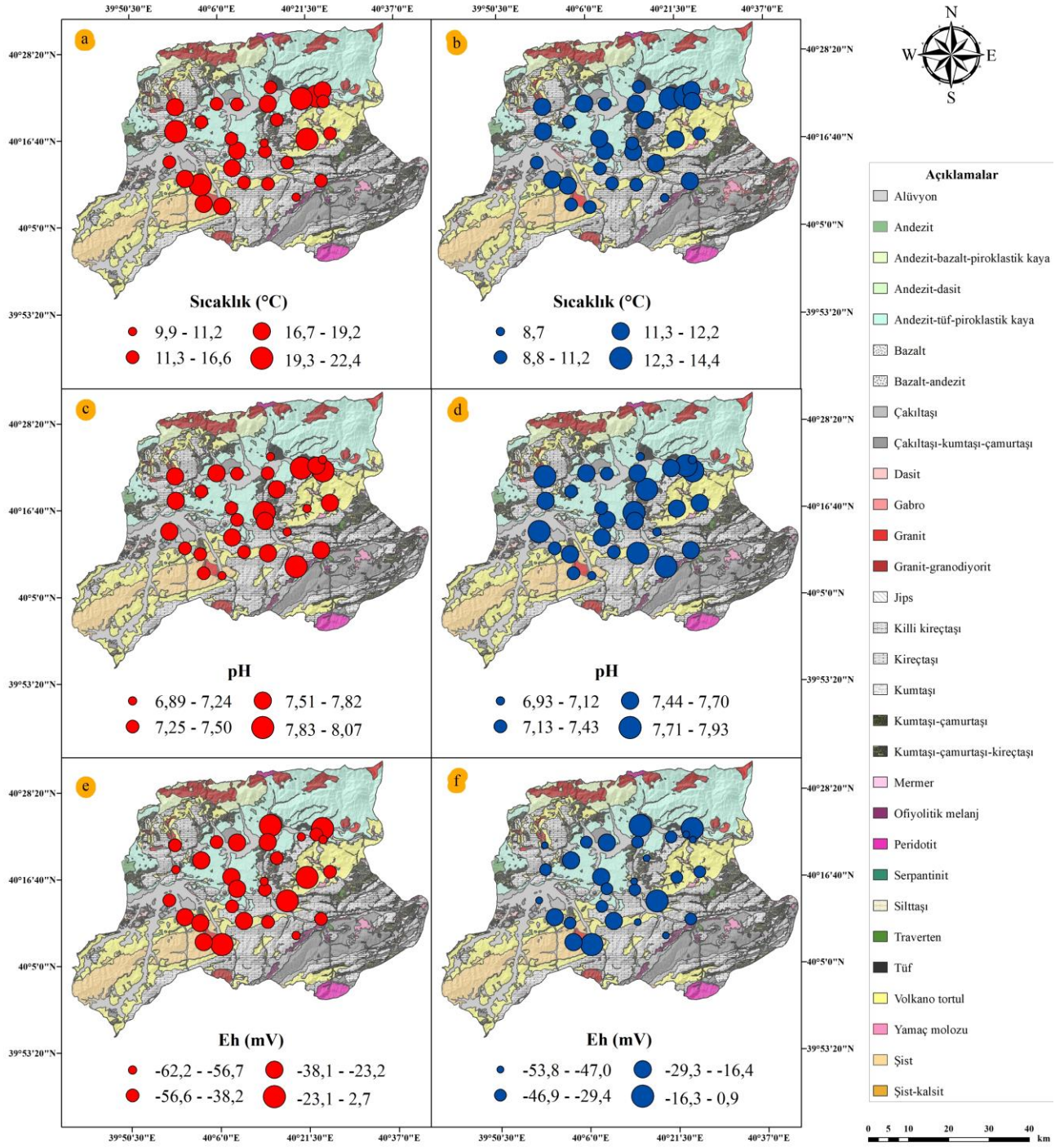
dönemin minimum ve maksimum değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda elde su kimyası verilerinde tüm örnekler için anyon-katyon dengeleri için hata oranı %5’in altında olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Kurak ($n=29$) ve yağışlı ($n=29$) dönem numunelerinin fizikokimyasal parametrelerine ve WQI değerlerine ait tanımlayıcı istatistikleri

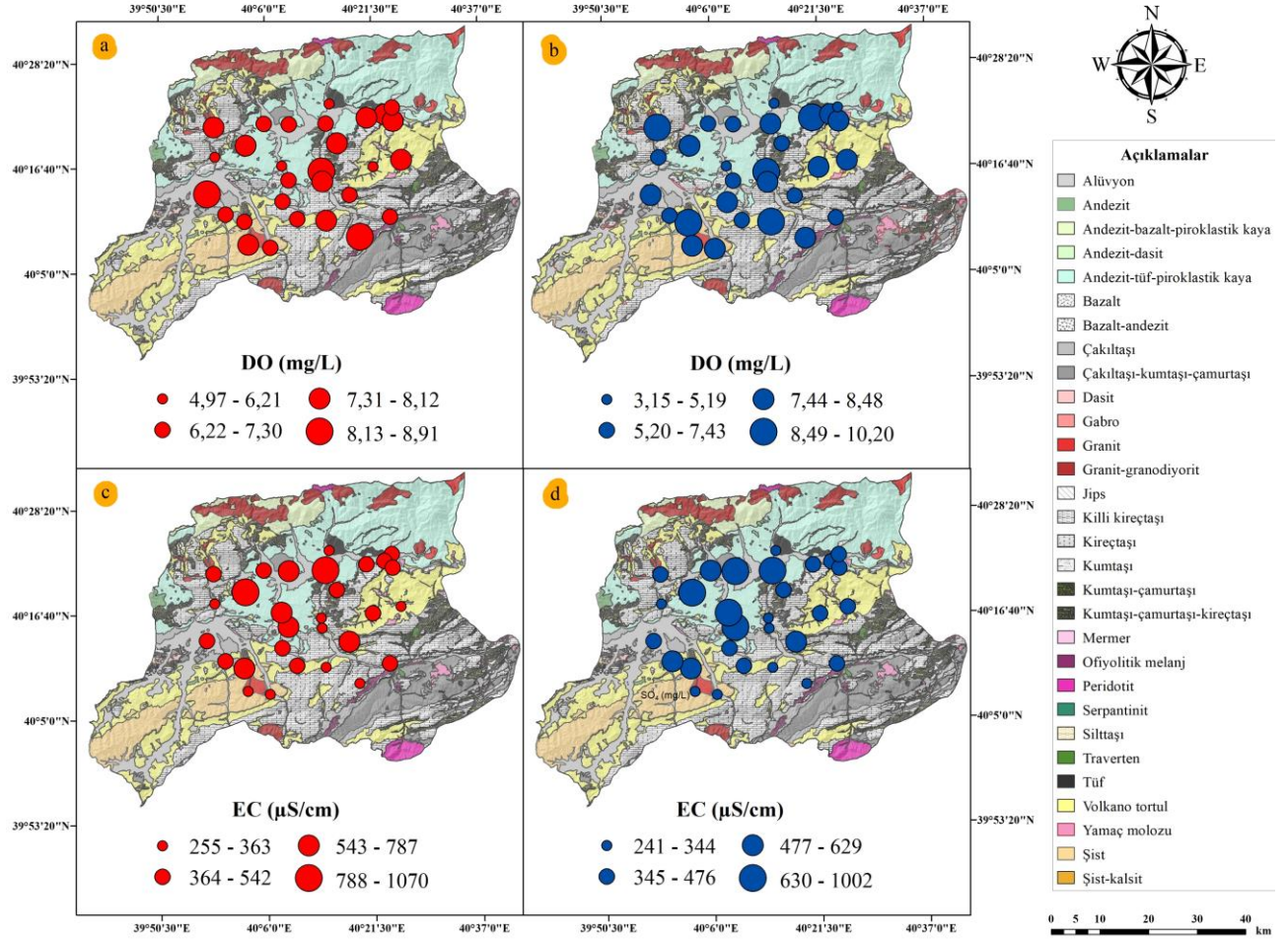
Parametre	Birim	Kurak Dönem				Yağışlı Dönem			
		En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan	En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan
Sıcaklık	°C	9,9	22,4	16,7	16,4	8,7	14,4	11,4	11,4
pH		6,89	8,07	7,57	7,61	6,93	7,93	7,54	7,56
Eh	mV	-62,2	2,7	-35,7	-38,2	-53,8	0,9	-32,4	-33,5
EC ^a	µS/cm	255	1070	490	426	241	1002	470	419
DO ^b	mg/L	5,0	8,9	7,3	7,3	3,2	10,2	7,6	8,0
Cl ⁻	mg/L	0,1	36,0	3,7	1,2	0,4	45,3	5,6	1,9
HCO ₃ ⁻	mg/L	129	555	238	222	111	444	217	210
F ⁻	mg/L	0,8	2,1	1,3	1,2	0,7	2,0	1,2	1,2
NO ₃ ⁻	mg/L	0,4	209,6	18,7	6,0	0,2	176,6	15,5	6,0
NO ₂ ⁻	mg/L	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
SO ₄ ⁻²	mg/L	6,0	63,0	18,9	11,0	2,0	68,0	18,7	9,0
Ca	mg/L	38,3	126,9	69,1	67,8	29,6	133,5	72,7	68,4
Mg	mg/L	2,3	52,1	18,1	16,5	2,5	56,3	17,6	15,9
Na	mg/L	0,5	117,4	17,2	10,9	1,1	73,4	15,9	9,8
K	mg/L	0,1	89,0	4,7	0,9	0,1	85,5	4,5	0,6
WQI ^c		52	122	79	75	44	113	72	70

Ort.: ortalama

^aelektriksel iletkenlik, ^bçözünmüş oksijen, ^cSu Kalitesi İndeksi,

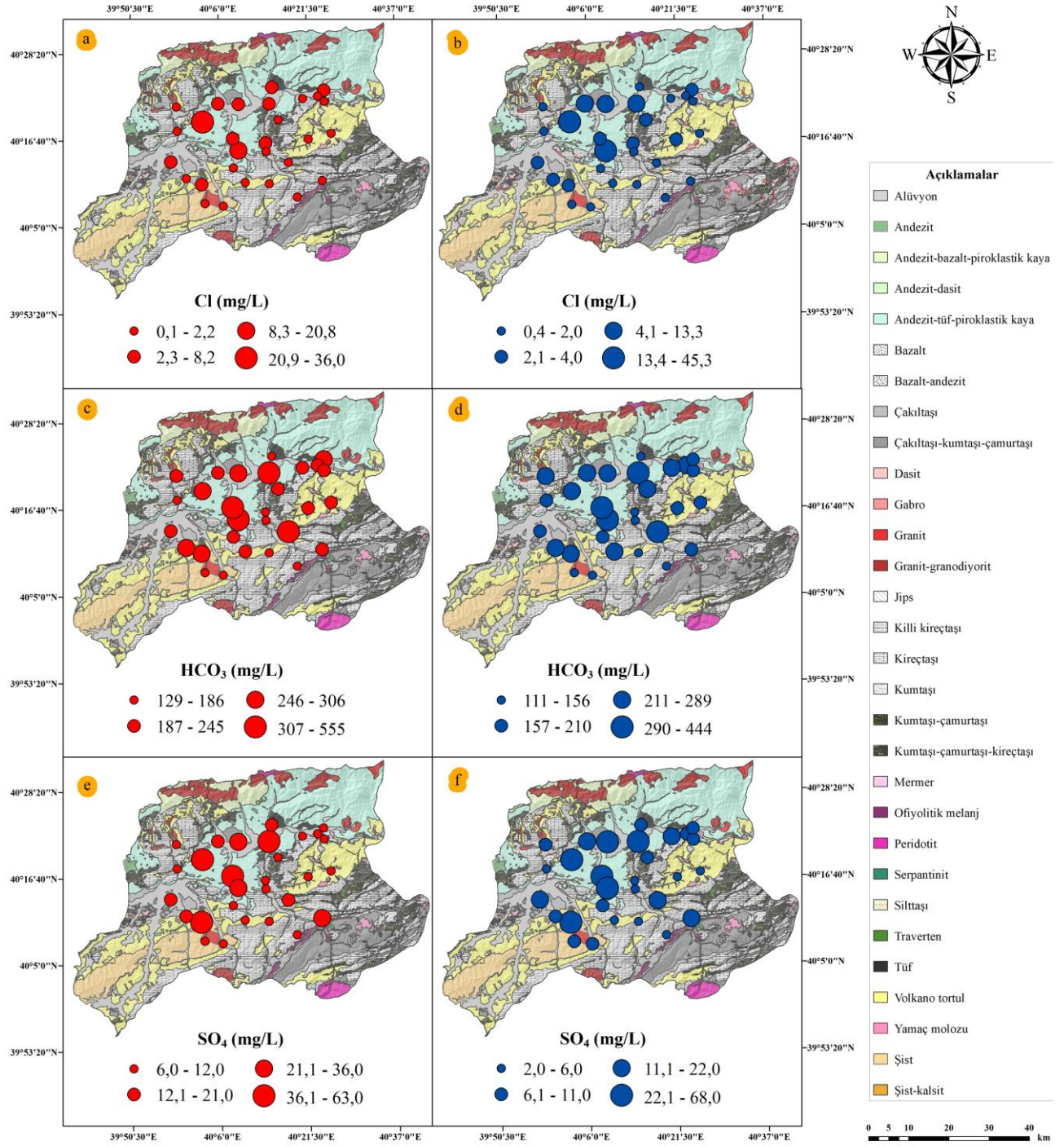


Şekil 4. Su numunelerine ait sıcaklık, pH ve Eh dağılım haritaları; kurak dönem (a, c, e), yağışlı dönem (b, d, f)

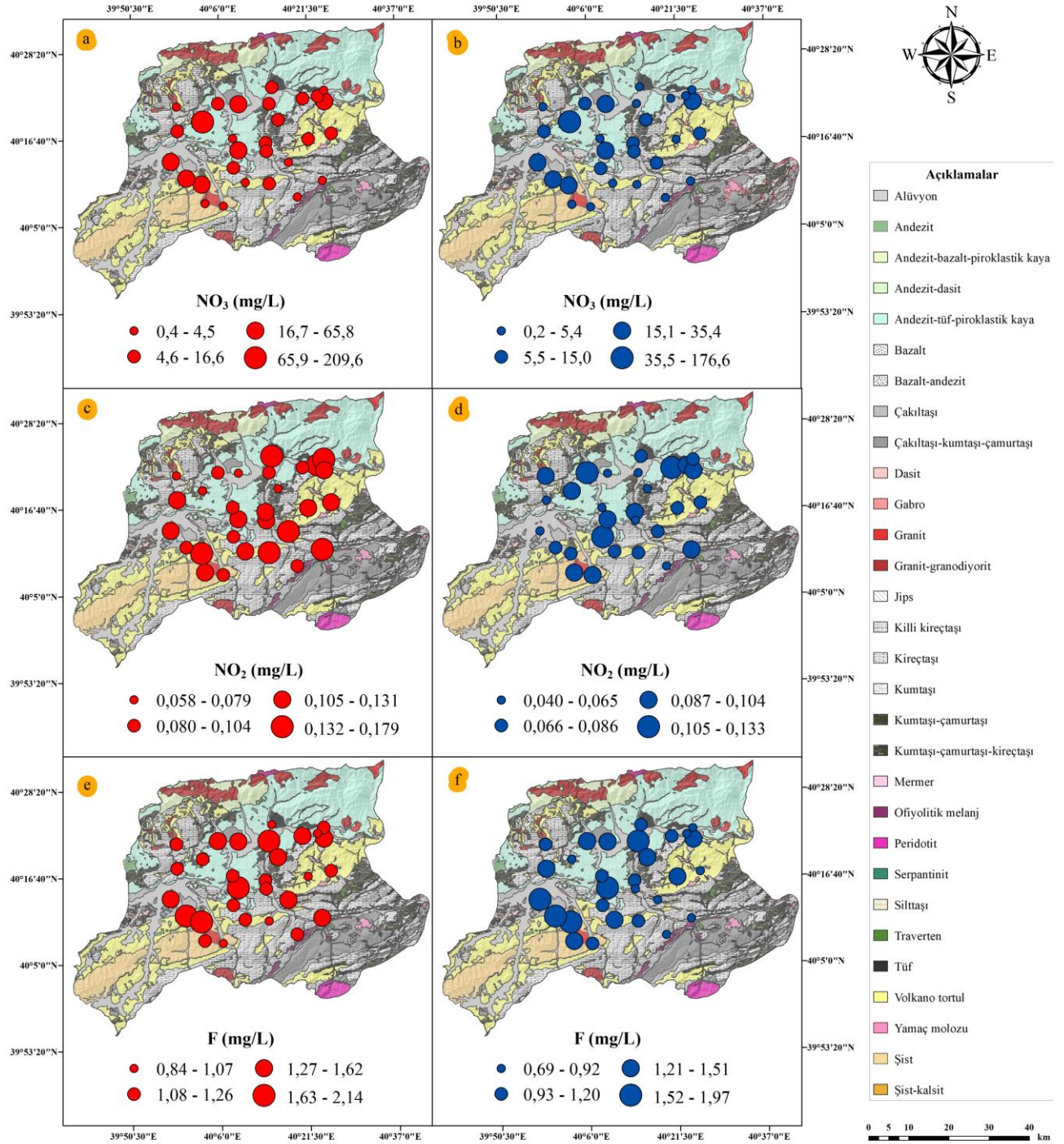


Şekil 5. Su numunelerine ait sıcaklık, DO ve EC dağılım haritaları; kurak dönem (a, c), yağışlı dönem (b, d)

Majör anyonların (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- ve F^-) kurak ve yağışlı dönem derişimleri Tablo 2'de sunulmuştur. Klorür derişimleri nispeten düşük (Şekil 6a ve Şekil 6b) olup bikarbonat derişimleri ise karbonatlı kayaçların yoğunluğuna bağlı olarak (Yıldırım ve ark., 2020) yüksek değerlere sahiptir (Şekil 6c ve Şekil 6d). Tortul kayaçların hâkim olduğu bölgelerde yüksek sülfat derişimleri gözlenmektedir (Şekil 6e ve Şekil 6f). Çoğu kaynak sularında görülen sülfatın kaynağı olarak jips minerali gösterilmektedir (Hem, 1985; White, 2010). Kurak döneme göre yağışlı dönemde nitrat (Şekil 7a ve Şekil 7b) ve nitrit (Şekil 7c ve Şekil 7d) değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Arazi kullanım/arazi örtüsü haritası incelendiğinde (Şekil 3b), yüksek derişimdeki nitrat tarımsal faaliyetlerin olduğu bölgelerde dağılım göstermektedir. Kurak dönem örnekleri yağışlı döneme göre daha yüksek florür derişimine sahip olup dağılımları Şekil 7e ve Şekil 7f'de görselleştirilmiştir.



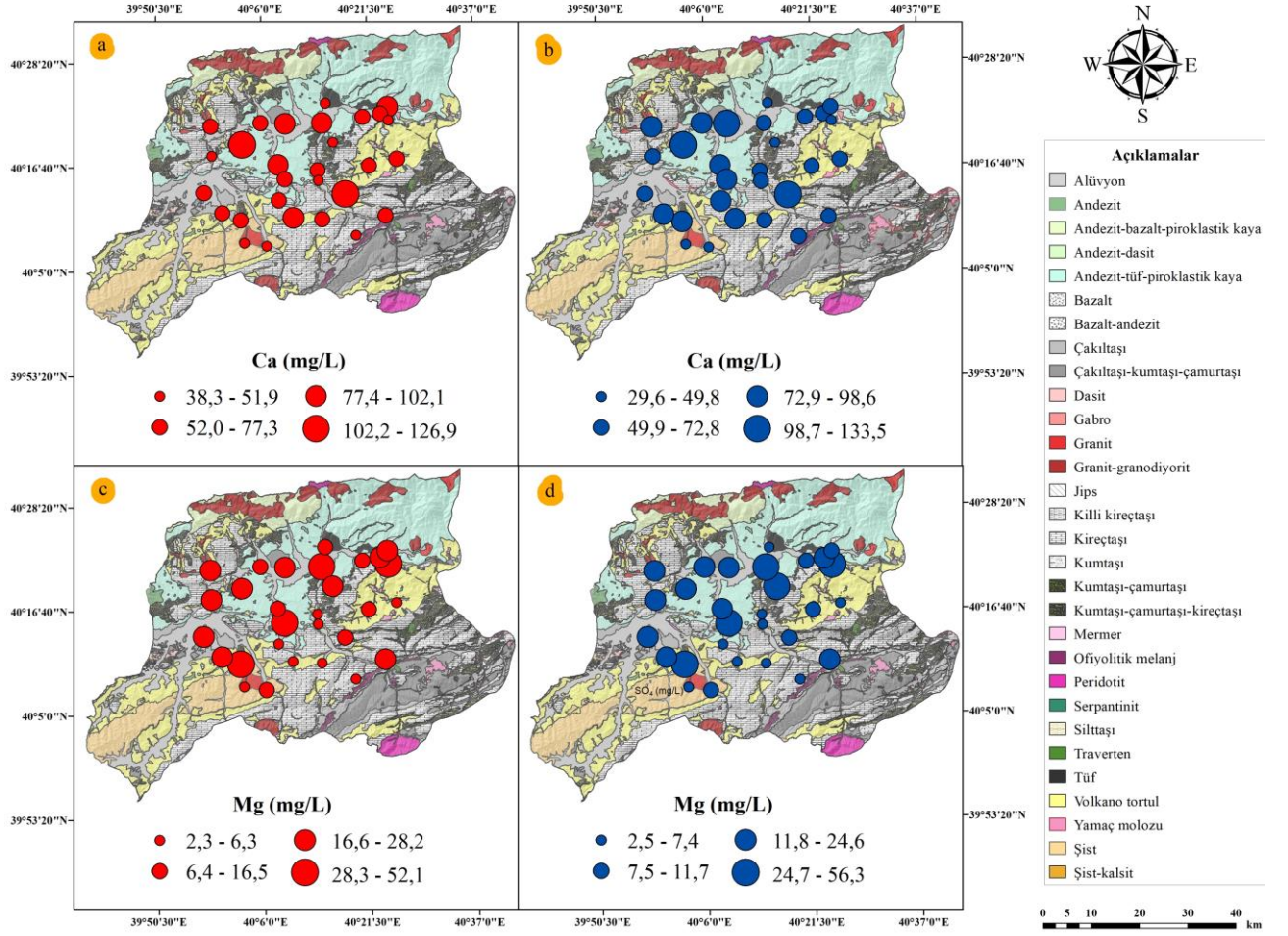
Şekil 6. Su numunelerine ait Cl⁻, HCO₃⁻ ve SO₄⁻ dağılım haritaları; kurak dönem (a, c, e), yağışlı dönem (b, d, f)

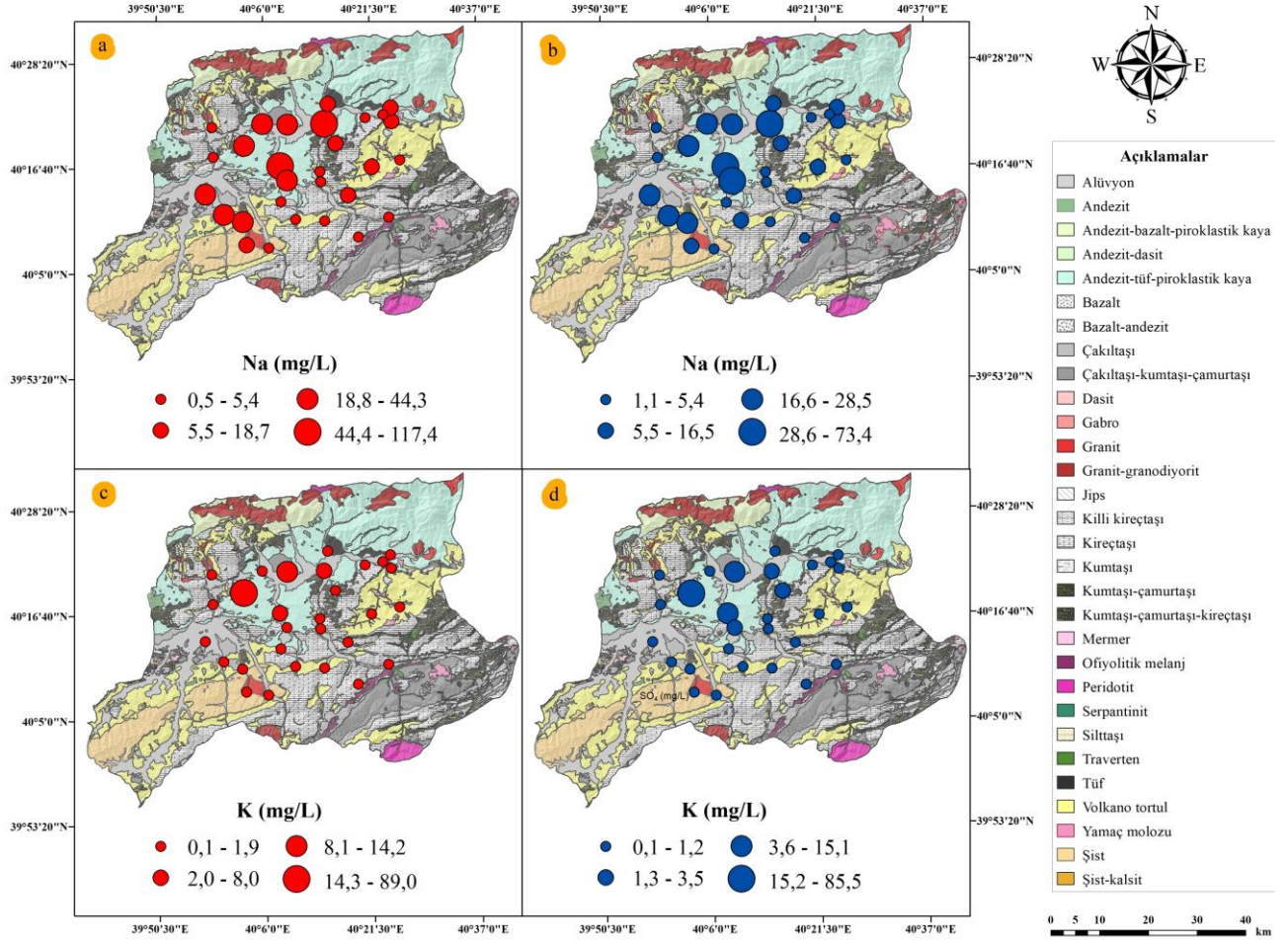


Şekil 7. Su numunelerine ait NO_3^- , NO_2^- ve F^- dağılım haritaları; kurak dönem (a, c, e), yağışlı dönem (b, d, f)

Kurak ve yağışlı dönemlerdeki derişimlerinde kritik bir fark göstermeyen kalsiyum ve magnezyumun (Tablo 2) ana kaynağını karbonatlı kayaçlar (kireçtaşı ve dolomit gibi) oluşturmaktadır (White, 2010). Çalışma alanındaki yüksek kalsiyum (Şekil 8a ve Şekil 8b) ve magnezyum (Şekil 8c ve Şekil 8d) derişimleri karbonatlı kayaçlarla etkileşim halinde olan sularda gözlenmiştir. Majör katyonlardan sodyumun kurak dönem örneklerindeki derişimi 0,5–117,4 mg/L arasında değişirken yağışlı dönem örneklerindeki derişimi 1,1–73,4 mg/L arasında değişmektedir (Tablo 2). Yağışların ve beslenme miktarının etkisiyle yağışlı dönem örneklerinin sodyum derişimleri daha düşük seviyelerdedir (Şekil 9a

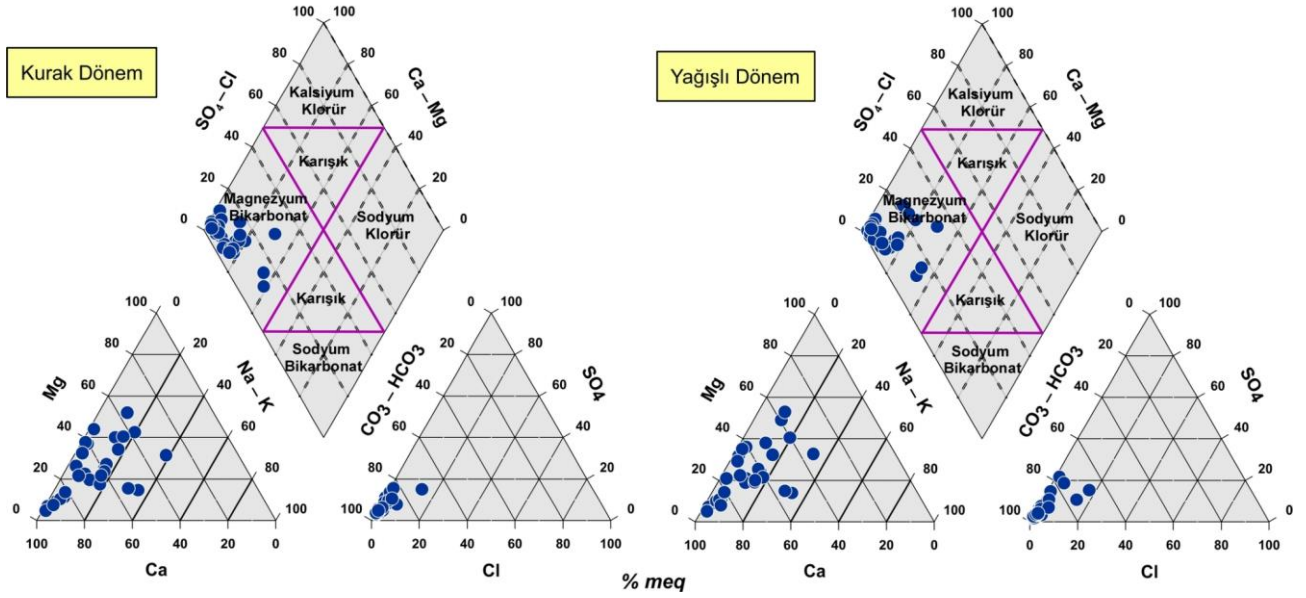
ve Şekil 9b). Potasyum derişimleri kurak dönemde 1,1–89,0 mg/L, yağışlı dönemde ise 0,1–85,5 mg/L aralığında değerler almaktadır (Tablo 2). Kurak ve yağışlı döneme ait su örneklerinin potasyum dağılım haritası Şekil 9c ve Şekil 9d’de gösterilmiştir.





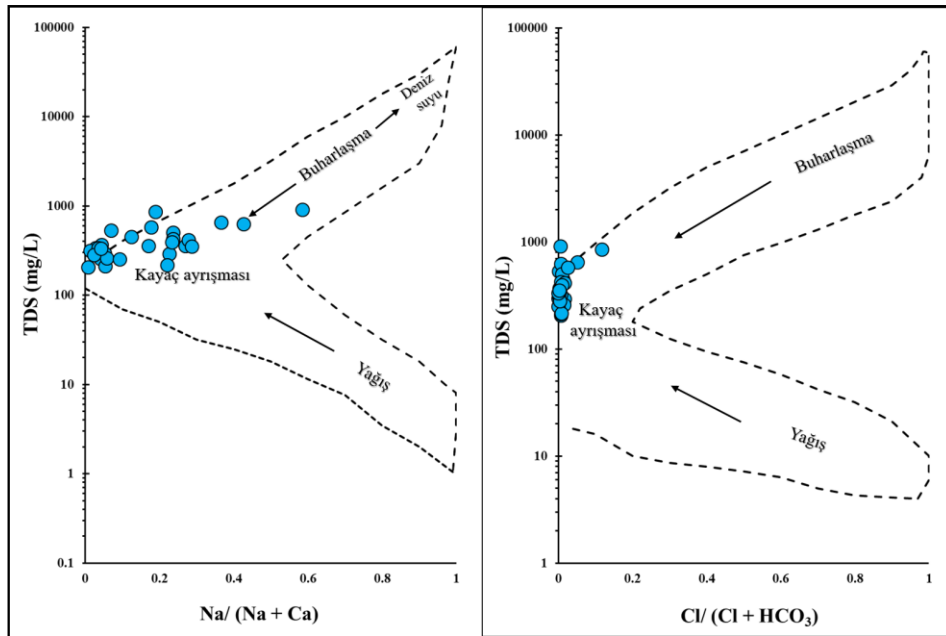
3.2. Hidrojeokimyasal Sınıflandırma

Kurak ve yağışlı dönem su örneklerinin fasiyeslerini belirlemek amacıyla oluşturulan Piper diyagramının (Şekil 10) katyon üçgeni incelendiğinde örneklerin büyük bir çoğunluğu “kalsiyum tipi” sular sınıfında olup kurak dönem örneklerinin beşi, yağışlı dönem örneklerinin ise dördü “karışık tip” sular sınıfındadır. Anyon üçgeni ele alındığında, her iki dönem örneklerinin tümü “bikarbonat+karbonat tipi” suları temsil etmektedir. Katyon ve anyon üçgenin birleşimini yansıtan elmas şeklin içeriğine göre her iki dönem örneklerinin tamamı “kalsiyum-magnezyum-bikarbonat tipi” fasiyesindedir.

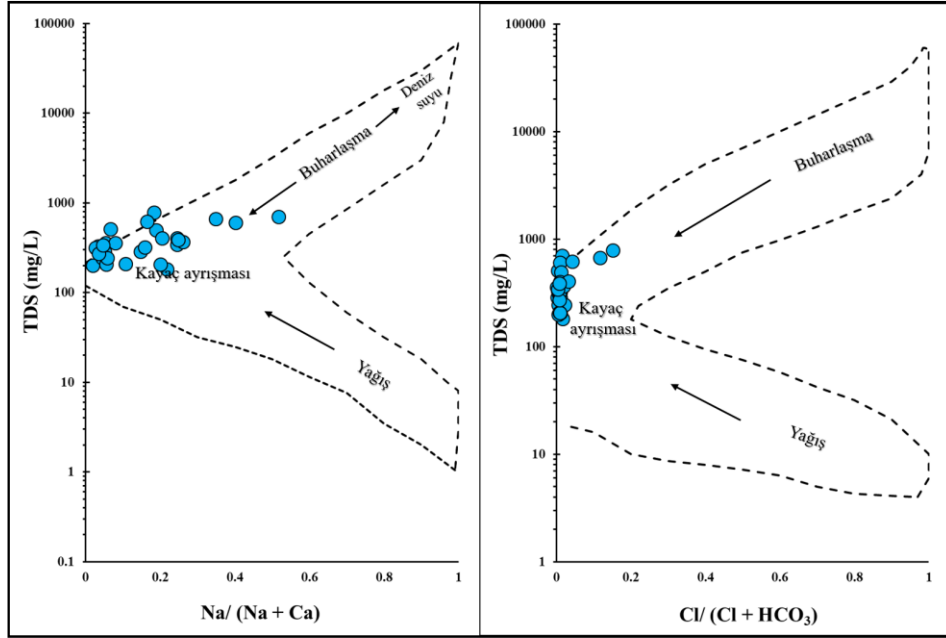


Şekil 10. Su numunelerine ait Piper diyagramı

Suyun bileşimine etki eden faktörleri ortaya koyan Gibbs diyagramında yağış baskınlığı, kayaç ayrışması (su-kayaç etkileşimi) ve buharlaşma faktörleri temel alınmaktadır (Gibbs, 1970). Doğal kaynak su örneklerinin genelinde su-kayaç etkileşimi baskındır (Şekil 11 ve Şekil 12). Karbonat minerallerinin baskın olduğu durumlarda daha düşük $Na/(Na+Ca)$ oranı gözlenirken nispeten daha yüksek $Na/(Na+Ca)$ oranları silikatlı kayalara işaret etmektedir (Banks ve Frengstad, 2006).



Şekil 11. Su numunelerine ait Gibbs diyagramı (kurak dönem)

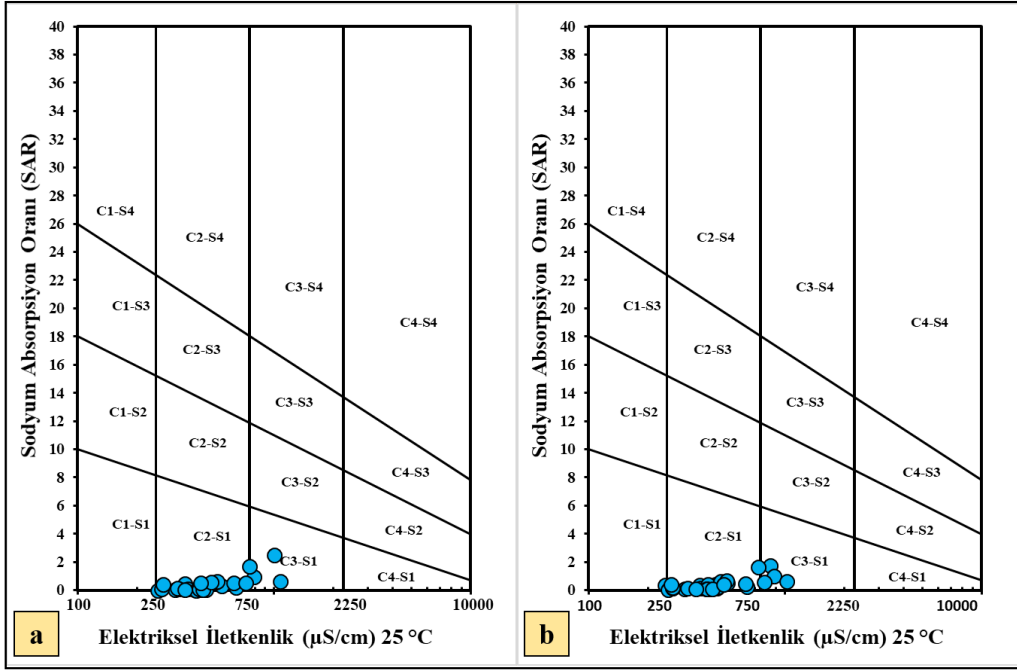


Şekil 12. Su numunelerine ait Gibbs diyagramı (yağışlı dönem)

Mevcut suların bünyesinde tuz gibi istenmeyen maddelerin bulunması, suların sulama amaçlı kullanımlarını sınırlamaktadır. Yüksek çözünmüş sodyum konsantrasyonları içeren sulama suyu, sodyumun toprakta bulunan killere adsorbe olan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının yerini alabilmesi nedeniyle sızma sorunları yaratmaktadır (Fetter, 2001). Suların sulama suyu olarak ve hangi tür çevresel ortamda kullanılabilirliklerinin değerlendirildiği ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı, $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden elektriksel iletkenliği ve Denklem 6'da verilen Sodyum Adsorpsiyon Oranını (SAR) esas almaktadır (USSLS, 1954). SAR, sulama sularındaki yüksek sodyum ve düşük kalsiyum derişimleri nedeniyle toprağın geçirgenliği azaltılabileceğinden sodyum (alkali) tehlikesini ifade etmektedir (Todd, 1980). Denklem 6'da kullanılan iyonların birimi meq/L 'dir.

$$SAR = Na \div \sqrt{((Ca + Mg) \div 2)} \quad (6)$$

SAR oranı ile sodyum doğru orantılı olup sodyum ne kadar yüksek ise SAR'da o kadar yüksek olmaktadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre çalışma alanından elde edilen kurak ve yağışlı döneme ait doğal kaynak suları C2-S1 ve C3-S1 sınıfındadır (Şekil 13a ve Şekil 13b). C2 sular orta derece tuzluluğu temsil etmekte olup orta derece tuzdan etkilenmeyen bitkilerde kontrole gerek duyulmadan kullanılabilir. Yüksek tuzluğu temsil eden C3 suları, drenajı kısıtlı topraklarda kullanılmazken tuz kontrolü için özel yönetim gerekmektedir. S1 sular düşük sodyumlu sular sınıfında olup hemen hemen bütün toprak ve bitkilerde sulama amaçlı kullanılabilir.

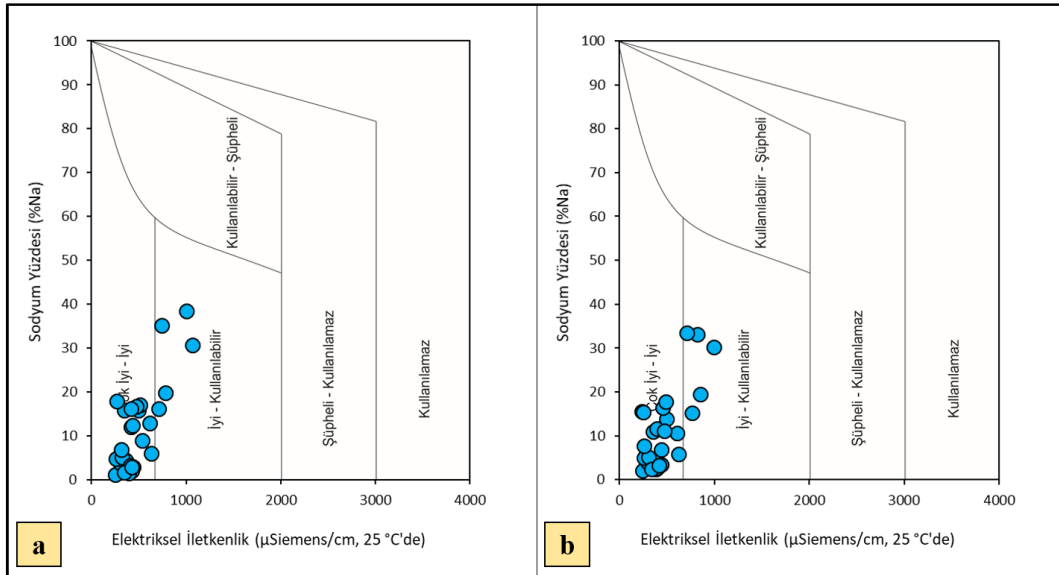


Şekil 13. (a) Kurak dönem ve (b) yağışlı dönem numunelerine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı

Suların sulama amaçlı kullanılabilirliklerinin değerlendirildiği bir diğer diyagram Wilcox diyagramıdır. Bu diyagramın X eksenini elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değeri, Y eksenini ise sodyum yüzdesi (%Na) oluşturmaktadır. Sodyum yüzdesi Denklem 7’de verilen formül ile hesaplanmakta olup formüde kullanılan birim meq/L’dir. Wilcox (1948)’e göre sodyum yüzdesi %80’in üzerinde olan sular sulama için uygun bulunmamaktadır.

$$\%Na = ((Na + K) \div (Ca + Mg + Na + K)) \times 100 \quad (7)$$

Kurak ve yağışlı dönem örneklerinin beşi “iyi-kullanılabilir” su sınıfında olup geriye kalan örneklerin tümü “çok iyi-iyi” sınıfındadır (Şekil 14a ve Şekil 14b).



Şekil 14. (a) Kurak dönem ve (b) yağışlı dönem numunelerine ait Wilcox diyagramı

3.3. Su Kalitesi

Su Kalitesi İndeksi (WQI), “mükemmel su” (WQI<50), “iyi su” (50<WQI<100), “kötü su” (100<WQI<200), “çok kötü su” (200<WQI<300) ve “içme amacına uygun olmayan su” (WQI>300) olmak üzere beş sınıfa ayrılmaktadır (Ramakrishnalah ve ark., 2009). Çalışma alanındaki doğal kaynak sularına uygulanan WQI yöntemine göre kurak dönem örneklerinin 25’i “iyi su”, dördü “kötü su” sınıfındadır (Şekil 15a). Kurak dönemde gözlenmeyen “mükemmel su” sınıfına yağışlı dönemde dört örnek dahil olmuştur. Kurak dönemdeki “kötü su” sınıfına dahil olan örnekler yağışlı dönemde de bu sınıfta yer almaktadır (Şekil 15b). Yağışlı dönemdeki geriye kalan örneklerin ($n=21$) tümü “iyi su” sınıfındadır. TDS, NO_3^- , F ve TH’ın yüksek derişimlerine sahip suların “kötü su” sınıfında olduğu belirlenmiştir. Sulardaki nitrat’ın başlıca kaynağını antropojenik etkenler (tarımsal, septik sistemler gibi) ve hayvansal atıklar oluşturmaktadır (Güler ve ark., 2017; Ji ve ark., 2018). Kötü su sınıfındaki sular tarımsal ve ekilebilir alanlarda dağılım göstermiştir (Şekil 15a ve Şekil 15b). Suda çözülmüş kalsiyum ve magnezyumun miktarını yansıtan TH’ın yüksek olduğu alanlarda karbonatlı kayalar yayılım göstermektedir.

Ağır Metal Değerlendirme İndeks (HEI) sonuçlarına göre sular üç sınıfa ayrılmaktadır. HEI değerleri 400’den küçük olan sular “düşük kirlilik” sınıfına, 400 ile 800 arasındaki sular “orta kirlilik” sınıfına ve 800’den büyük değerlere sahip sular ise “yüksek kirlilik” sınıfına ait olmaktadır (Edet ve Offiong, 2002). HEI değeri 800’den yüksek olan sular, kalite ve insan sağlığı açısından önemli riskler barındırmaktadır (Badeenezhad ve ark., 2023). Çalışma alanından alınan su örneklerinin kurak dönemdeki HEI değerleri 59 ile 2920 arasında değişirken, yağışlı dönemde bu değerler azalış göstererek 43 ile 2832 arasında değişmiştir (Tablo 3). Ayrıca, HEI hesaplamalarında kullanılan ağır metallerin istatistikleri de Tablo 3’de verilmiştir. Buna göre, genel anlamda su örneklerinin HEI’de kullanılan ağır metal derişimlerinde azalış gözlenirken arsenik ve demir içeriklerinin ortalama olarak arttığı belirlenmiştir. Bu artışın ise bölgedeki su-kayaç etkileşimine bağlı olarak meydana geldiği düşünülmüştür.

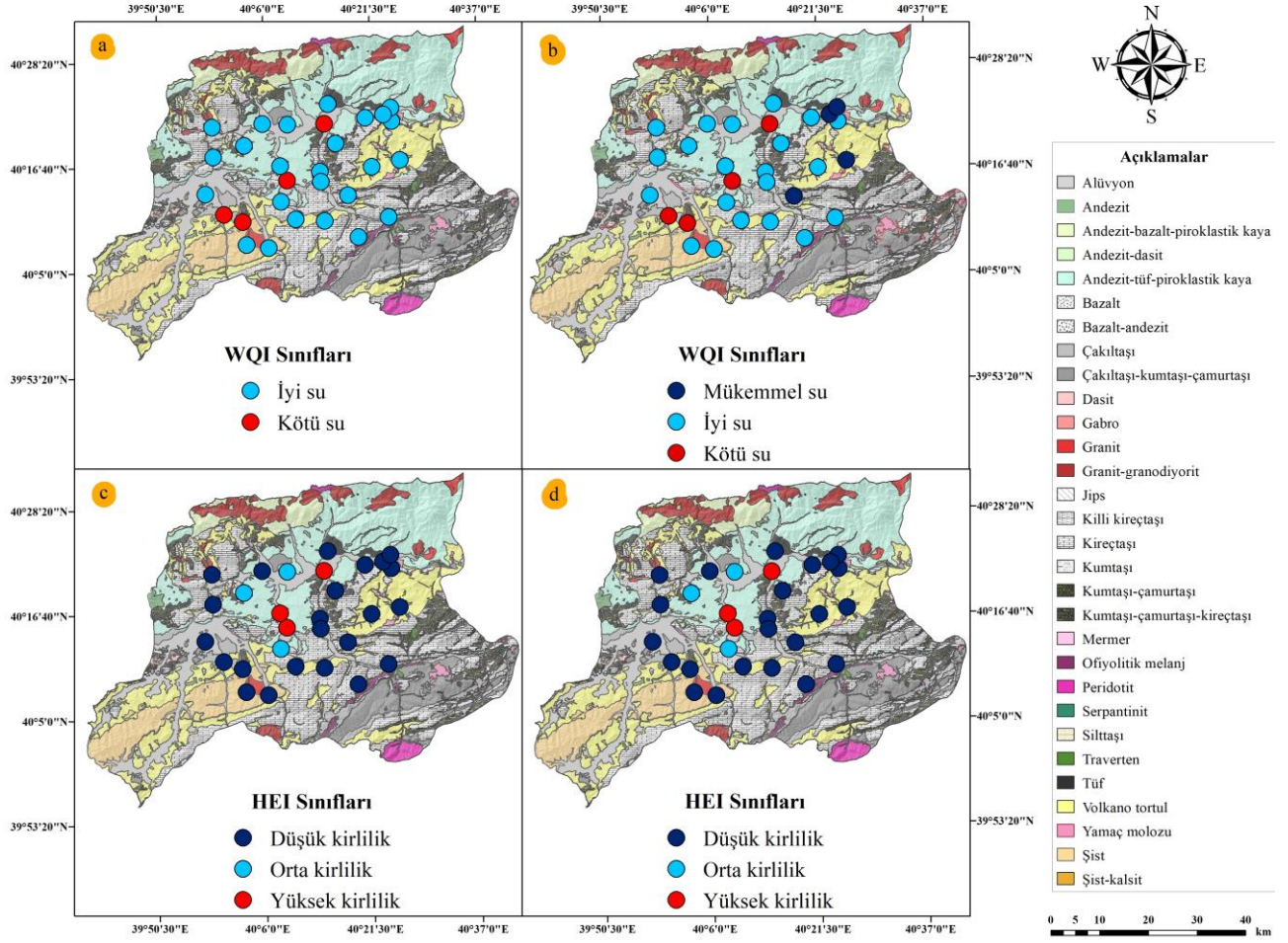
Çalışma alanının her iki dönemine ait su örneklerinin üçünde yüksek kirlilik, üçünde orta kirlilik ve 23’ünde ise düşük kirlilik gözlenmiştir (Şekil 15c ve Şekil 15d). Ağır metaller açısından yüksek kirlilik gösteren suların arsenik derişimleri yüksektir. Arseniğin jeojenik kaynaklı olduğu kuvvetle muhtemel olup arsenik kirliliğinin görüldüğü noktaların litolojisinin tortul kayalar oluşturmaktadır (Şekil 15c ve Şekil 15d). Bu tortul kayalar volkanik kökenli olup Eosen yaşlı volkano-tortul kayaç olarak adlandırılmaktadır (MTA, 2002a; MTA, 2002b). Yapılan bir çalışmada benzer şekilde yüksek arsenik derişimine sahip suların, Eosen yaşlı volkanik ürünlerle etkileşime girdiği tespit edilmiştir (Biçgel ve ark., 2021).

Tablo 3. Kurak (n=29) ve yağışlı (n=29) dönem numunelerinin ağır metal derişimlerine ve HEI değerlerine ait tanımlayıcı istatistikleri

Parametre	Birim	Kurak Dönem				Yağışlı Dönem			
		En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan	En düşük	En yüksek	Ort.	Medyan
Ba	µg/L	8,9	183,6	71,9	65,8	6,2	245,2	74,6	57,6
Cr	µg/L	0,00	2,69	0,32	0,14	0,00	2,54	0,28	0,06
Cu	µg/L	0,00	1,48	0,54	0,51	0,05	1,27	0,50	0,51
Ni	µg/L	0,00	6,90	0,35	0,00	0,04	3,11	0,31	0,14
Sb	µg/L	0,00	0,40	0,05	0,01	0,02	0,32	0,05	0,03
As	µg/L	0,16	27,04	3,22	0,93	0,25	26,88	3,43	1,01
Fe	µg/L	0,00	33,16	2,45	0,24	0,40	65,05	9,01	2,32
Mn	µg/L	0,03	2,49	0,28	0,16	0,00	2,52	0,31	0,10
Zn	µg/L	0,00	3,45	0,30	0,09	0,01	0,97	0,17	0,13
HEI ^d		59	2920	403	179	43	2832	416	170

^dAğır Metal Değerlendirme İndeksi

İçme sularında izin verilen maksimum değerleri aşan parametreler nitrat, florür, arsenik ve bor'dur. Bu parametreler belirlenirken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standardı (TS 266) referans alınmıştır. Yüksek derişimde nitratlı suya maruz kalan bebeklerde "mavi bebek" olarak adlandırılan hastalık görülmektedir (WHO, 2022). Bu durum kandaki oksijen miktarının azalmasına bağlı olarak bebeklerde görülen renk değişikliğinin bir sonucudur. Sulardaki yüksek florür miktarları, ilk düzeyde dental fluorozis (dişlerde lekelenmeler) görülürken daha ileri düzeylerde bu hastalık iskelet sistemine taşınmaktadır (WHO, 2022). İyi bilinen toksik elementlerden arsenik üç örnekte sınır değeri aşmış olup bir örnekteki derişimi sınır değerin 2,5 katından fazladır. İçme suyu yoluyla yüksek düzeyde arsenik tüketiminin kanser gelişimiyle nedensel olarak ilişkili olduğuna dair çok güçlü kanıtlar bulunmaktadır (WHO, 2022). Borik asit veya boraksa kısa ve uzun süreli oral yolla maruz bırakılan erkek laboratuvar hayvanlarının üreme sisteminin olumsuz etkilendiğini kanıtlanmıştır. (WHO, 2022). Bununla birlikte borun zararlı etkisine yetişkinler kusma, ishal ve baş ağrısı ile tepki verirken çocuklarda ise havale, kanama gibi beyin zarı tahribi görülmektedir (Demirtaş, 2010).



4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, Bayburt il merkezinde ve yakın çevresindeki 29 noktadan su örneği alınmıştır. Bu örnekler doğal kaynak suyu olarak nitelendirilmekte olup içme amacının yanında sulama suyu olarak da kullanılmaktadır. Su örnekleme ve analizleri kurak ve yağışlı dönemleri temsil edecek şekilde iki dönemde tamamlanmıştır. Suların “bikarbonat+karbonat” tipinde olduğu, bileşimlerini etkileyen en önemli faktörün ise su–kayaç etkileşimi olduğu belirlenmiştir.

Suların sulama suyu olarak kullanımı açısından çok fazla risk oluşturmayacağı, tuzluluğa hassas bitki ve topraklarda kullanılabilmesi ortaya koyulmuştur. İçme suyu olarak kullanım açısından, suların kalitesi WQI ve HEI yöntemleri ile değerlendirilmiştir. WQI değerlerine göre kurak dönem örnekleri “iyi su” ve “kötü su” olarak iki sınıfa ayrılırken yağışlı dönem örnekleri ise “mükemmel su”, “iyi su” ve “kötü su” olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Her iki dönem örneklerinin HEI değerleri suları üç sınıfa ayırmış olup her iki dönemde de “düşük kirlilik”, “orta kirlilik” ve “yüksek kirlilik” gözlenmiştir. Yüksek kirliliğe neden olan parametrenin arsenik olduğu tespit edilmiştir.

WHO ve TS 266 içme suları kılavuzları referans alınarak değerlendirilen bazı örneklerde nitrat, florür, arsenik ve bor parametreleri sınır değerleri aşmıştır. Özellikle arseniğin bir örnekte sınır değerinin 2,5 katından fazla derişimde olduğu vurgulanmıştır. Sınır değeri aşan parametrelerin yaratacağı riskler

önceki bölümde detaylandırılmıştır. Bu suların özellikle içme amacıyla kullanılması kısıtlanmalı takibi yapılarak sulama amacıyla kullanılması teşvik edilmelidir. Yerel yönetim ile iş birliği içinde olunmalı ve yöre halkının daha temiz su kaynaklarına ulaşması sağlanmalıdır. Ayrıca, yerinde arıtma yöntemlerinin kullanılarak kirli kaynakların içme-kullanma amaçlarına uygun hale getirilmesi de sağlanabilir. Bununla birlikte uzun yıllar bu suları tüketen insanların sağlık taramalarının yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya sağladığı maddi katkıdan ötürü (Proje Kod No: 2023/69004-01) Bayburt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz. Bu makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı, editör ve hakemlere teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışma 15-17 Mayıs 2024 tarihleri arasında Bayburt Üniversitesi tarafından organize edilen “International Congress on Multidisciplinary Approaches in Agricultural Sciences (ASMAC)” kongresinde sözlü sunum olarak sunulmuş ve özet metin olarak kongre kitabında yayınlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Adimalla N. Controlling factors and mechanism of groundwater quality variation in semiarid region of South India: an approach of water quality index (WQI) and health risk assessment (HRA). *Environmental Geochemistry and Health* 2019; 42: 1725-1752.
- Aly AA., Alharby MM. The water quality index and hydrochemical characterization of groundwater resources in hafar albatin, saudi arabia. *Arabian Journal of Geosciences* 2014; 8(6): 4177-4190.
- Arslan M., Aslan Z., Dokuz A. Bayburt tüflerinin petrografik, petrokimyasal ve petrolojik özellikleri: Doğu Pontid Güney Zonu'nda Eosen kalkalkalen felsik volkanizması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2005; 20(1): 49-68.
- Appelo CAJ., Postma D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2nd ed. Netherlands: A.A. Balkema Publishers; 2005.
- Aydın H., Ustaoglu F., Tepe Y., Soylu EN. Assessment of water quality of streams in Northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods. *Environmental Forensics* 2020; 22(1-2): 270-287.
- Badeenezhad A., Soleimani H., Shahsavani S., Parseh I., Mohammadpour A., Azadbakht O., Javanmardi P., Faraji H., Nalosi KB. Comprehensive health risk analysis of heavy metal pollution

- using water quality indices and Monte Carlo simulation in R software. *Scientific Reports* 2023; 13: 15817.
- Banks D., Frengstad B. Evolution of groundwater chemical composition by plagioclase hydrolysis in Norwegian anorthosites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2006; 70(6): 1337-1355.
- Biçgel BF., Kurt MA., Yıldırım Ü., Güler C., Güven O. Sivas Havzasındaki Eosen volkanizmasından kaynaklanan arsenik kirliliği: Yalıncaak köyü (Hafik, Sivas) eski içme suyu kaynağı. *NÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi* 2021; 10(2): 511-519.
- Birinci S. Bayburt ilinin coğrafyası. Atatürk Üniversitesi Yayınlanmamış Doktora Tezi, sayfa no:353, Erzurum, Türkiye, 2013.
- Brown RM., McClelland NI., Deininger RA., Tozer RG. Water quality index-do we dare? *Water Sewage Works* 1970; 117(10): 339-343.
- Carbon D. Linking water stress and measures of crisis management - A systematic review of emergency drinking water management in Germany. *Journal of Environmental Management* 2024; 359: 120901. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120901>
- Chauhan JS., Badwal T., Badola N. Assessment of potability of spring water and its health implication in a hilly village of Uttarakhand, India. *Applied Water Science* 2020; 10(2): 73.
- Chung SK., Senapathi V., Kim TH., Kim DS., Ramkumar T. Influence of hydrogeochemical processes and assessment of suitability for groundwater uses in Busan city, Korea. *Environment, Development and Sustainability* 2015; 17(3): 423-441.
- Demirtaş A. Bor'un insan beslenmesi ve sağlığı açısından önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2010; 41(1): 75-80.
- Dumaru B., Kayastha SP., Pandey VP. Spring water assessment for quality and suitability for various uses: the case of Thuligaad watershed, western Nepal. *Environmental Earth Sciences* 2021; 80(17): 586.
- Edet AE., Offiong OE. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring a study case from Akpabuyo-Odukpani area, lower cross river basin Nigeria. *GeoJournal* 2002; 57: 295-304.
- EEA (European Environment Agency). CORINE land cover 2018 (vector/raster 100 m), Europe, 6-yearly. <https://land.copernicus.eu/paneuropean/corine-landcover/clc2018?tab=download>. Erişim Tarihi: 11.07.2024
- Fetter CW. *Applied hydrogeology*, 4th ed. NJ: Prentice Hall, Inc; 2001.
- Fırat Ersoy A., Hatipoğlu Temizel E. Karadere Deresi'nin (Araklı-Trabzon) içme ve sulama suyu amaçlı kullanım uygunluğunun incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2022; 8(2): 238-249.
- Ghanem M., Ahmad W., Keilan Y., Sawaftah F., Schelster L., Schuettrumpf H. Spring water quality in the central West Bank, Palestine. *Journal of Asian Earth Sciences*: X 2021; 5(45): 100052.
- Gibbs JR. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 1970; 1088-1090.

- Güler C., Geoffrey DT., Tağa H., Yıldırım Ü. Process governing alkaline groundwater chemistry within a fractured rock (Ophiolitic Mélange) aquifer underlying a seasonally inhabited headwater area in the Aladağlar Range (Adana, Turkey). *Geofluids* 2017; 1: 1-22. <https://doi.org/10.1155/2017/3153924>
- Gültekin F., Dilek R. Gümüşhane yöresi mineralli su kaynaklarının iz element ve radyoaktivite içerikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 2005; 29(1): 36-43.
- Hem JD. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 4th ed. VA: U.S. Geological Survey Water Supply Paper; 1985.
- Jasik M., Małek S., Żelazny M. Effect of water stage and tree stand composition on spatiotemporal differentiation of spring water chemistry draining Carpathian flysch slopes (Gorce Mts). *Science of the Total Environment* 2017; 599-600: 1630-1637.
- Ji X., Wu RT., Long L., Guo C., Khashab NM., Huang F., Sessler JL. Physical removal of anions from aqueous media by means of a macrocycle-containing polymeric network. *J Am Chem Soc.* 2018; 140(8): 2777-2780.
- Keskin İ., Korkmaz S., Gedik İ., Ateş M., Gök L., Küçümen Ö., Erkal T. Bayburt dolayının jeolojisi. MTA Raporu (Derleme No: 8995); 1989.
- Ketin İ. Türkiye'nin orojenik gelişmesi. *MTA Dergisi* 1959; 53: 78-86.
- Lakshmi E., Madhu G. Trends in hydro-climatic variables and dissolved oxygen of the river Periyar, South India with potential impacts of global warming. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 2013; 172: 387-396.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). Resmi istatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BAYBURT>. Erişim Tarihi: 18.07.2024
- MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü). 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Erzurum Paftası. Jeoloji Etüt Dairesi Başkanlığı; 2002a.
- MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü). 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Trabzon Paftası. Jeoloji Etüt Dairesi Başkanlığı; 2002b.
- Nguyet VTM., Goldscheider N. Tracer tests, hydrochemical and microbiological investigations as a basis for groundwater protection in a remote tropical mountainous karst area, Vietnam. *Hydrogeology Journal* 2006; 14(7): 1147-1159.
- Pant RR., Zhang F., Rehman UF., Wang G., Ye M., Tang H. Spatiotemporal variations of hydrogeochemistry and its controlling factors in the Gandaki River Basin, Central Himalaya Nepal. *Science of the Total Environment* 2018; 622-623: 770-782.
- Piper AM. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Eos Transactions American Geophysical Union* 1944; 25(6): 914-928.

- Ramakrishnalah CR., Sadas Hivalah C., Ranganna G. Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka state, India. *European Journal of Chemistry* 2009; 6(2): 523-530.
- Salehi M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International* 2022; 158. .
- Semiz Ü., Gücer MA., Alemdağ S. Şiran (Gümüşhane) İlçe Merkezi su kaynaklarının kalitesi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2021; 7(1): 59-74.
- Shigut DA., Liknew G., Irge DD., Ahmad T. Assessment of physico-chemical quality of borehole and spring water sources supplied to Robe Town, Oromia region, Ethiopia. *Applied Water Science* 2017; 7: 155-164.
- Sipahi F., Uslu S. Investigation of the quality and physical-geochemical characteristics of the drinking water in Gümüşhane (Turkey) city central. *Arabian Journal of Geosciences* 2016; 9(12): 600.
- Sória M., Tavares VEQ., Pinto MAB., Stumpf L., Zarnott D., Bubolz J., Nörenberg BG. Evaluation of physicochemical water parameters in watersheds of southern Brazil. *Revista Ambiente & Água* 2020; 15(5): 1-11.
- T.C. Bayburt Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. Bayburt ili 2023 yılı çevre durum raporu. Bayburt; 2024.
- Todd DK. Groundwater hydrology. 2nd ed. NY: Wiley; 1980.
- TS 266 (Türk Standardı). Sular - İnsanı tüketim amaçlı sular. Türk Standartları Enstitüsü; 2005.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>. Erişim Tarihi: 18.07.2024
- EPA (Environmental Protection Agency). Factsheets on water quality parameters. 2021; <https://www.epa.gov/awma/factsheets-water-quality-parameters>. Erişim Tarihi: 21.07.2024.
- United Nations, The United Nations world water development report. Groundwater: making the invisible visible. Paris: UNESCO; 2022.
- USSLS (United States Salinity Laboratory Staff). Diagnosis and improvement of saline alkali soils, agriculture, US Department of Agriculture; 1954.
- Van A., Yalçınalp B. Kuşkayası (Otlukbeli - Erzincan) manganez yatağının jeolojik yerleşimi ve jeokimyasal özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 2010; 34(1): 41-55.
- White WB. Springwater geochemistry. In: Kresic N., Stevanovic Z (ed.), *Groundwater hydrology of springs*. Butterworth-Heinemann; 2010; 231-268.
- Wilcox LV. The quality of water for irrigation use. US Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 962, sayfa no: 40, Washington, D.C., 1948.
- WHO (World Health Organization). Guidelines for drinking water quality: 4th ed. WHO Publications; 2022.
- Yazıcı H. Şehir coğrafyası açısından bir inceleme: Bayburt. *Türk Coğrafya Dergisi* 1995; 30: 189-218.

- Yıldırım Ü. Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of Çoruh River Basin (Northern Turkey) using GIS technique. *Fresenius Environmental Bulletin* 2021; 30(05): 4962-4974.
- Yıldırım Ü., Güler C., Kurt MA., Güven O. Kaynağından Akdeniz'e Deliçay'ın (Mersin) debisi ve su kalitesinin değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2020; 10(4): 1121-1135.

Mimar Sinan'ın Anıtsal Camilerinde Mekânsal Bütünlük: Merkezi Plan Şemasının Analizi

Mehmet MUTLU^{1*}

¹ Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 78600, Karabük

¹ <https://orcid.org/0000-0002-7351-0138>

*Sorumlu yazar: mehmetmutlu@karabuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.10.2024

Kabul tarihi: 29.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Mimar Sinan

Anıtsal cami

Merkezi plan

ÖZ

Türk mimarlığında anıtsal camilerin yapımı, Mimar Sinan gibi bir dahi ile özel bir dönem yaşamıştır. İstanbul'un fethiyle imparatorluk mülkü haline gelen ve o zamana dek yapılmış en muazzam eserlerden biri olan Ayasofya'nın örtü sistemi, Sinan dönemi öncesinde bazı yapılar üzerinde denenmiş olsa da Sinan'ın uzun kariyeri ve özgün tarzıyla devletin ekonomik gücü birleştiğinde, yaklaşık 50 yıllık bir süreçte Türk mimarisinde anıtsal cami yapıları doruk noktasına ulaşmıştır. Sinan'ın tüm çabaları, mekân bütünlüğünü en üst seviyeye çıkarma amacına dayanmıştır. Bu hedef, statik ve estetik sınırlamalarla şekillenmiş olmasına rağmen, en net şekilde Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camileri gibi üç anıtsal eserde görürün hale gelmiştir. Bu üç eser, Sinan'ın neredeyse yarım yüzyıl süren arayışlarının somut bir yansımasıdır. Sinan, sadece ideal bir mekân arayışına odaklanmakla kalmamış, aynı zamanda bu hedefe ulaşmasını en çok engelleyen örtü sistemini de mükemmel bir şekilde çözmüştür. Bu örneklerle, Sinan hâlâ mimarlık sanatının zirvesini temsil etmektedir. Bu çalışma, Sinan'ın mekân bütünlüğüne odaklı arayışlarının ve bu alandaki üstün başarısının en önemli üç örnek üzerinden incelenmesini amaçlamaktadır.

Spatial Integrity in Mimar Sinan's Monumental Mosques: Analysis of the Central Plan Scheme

Research Article

Article History:

Received: 05.10.2024

Accepted: 29.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Mimar Sinan

Monumental mosque

Central plan

ABSTRACT

The construction of monumental mosques in Turkish architecture experienced a special period with a genius like Mimar Sinan. Although the covering system of the Hagia Sophia, which became an imperial property with the conquest of Istanbul and is one of the most monumental works ever built, had been tried on some buildings before the Sinan period, the combination of Sinan's long career and unique style with the economic power of the state led to the culmination of monumental mosque structures in Turkish architecture in a period of about 50 years. All of Sinan's efforts were based on the goal of maximizing the integrity of space. This goal, although shaped by static and aesthetic limitations, is most clearly visible in three monumental works: the Şehzade Mehmet, Süleymaniye and Selimiye mosques. These three works are a concrete reflection of Sinan's almost half-century-long search. Sinan not only focused on the search for an ideal space, but also perfectly solved the covering system that most prevented him from achieving this goal. With these examples, Sinan still represents the pinnacle of the art of architecture. This study aims to analyze Sinan's search for spatial integrity and his outstanding success in this field through three of the most important examples.

To Cite: Mutlu M. Mimar Sinan'ın Anıtsal Camilerinde Mekânsal Bütünlük: Merkezi Plan Şemasının Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 720-738.

1. Giriş

Osmanlı İmparatorluğu'nun muhteşem mirası içinde, Mimar Sinan'ın eşsiz mimari eserleri, dönemin estetik ve mühendislik harikaları arasında öne çıkar. Sinan'ın ustalığı, imparatorluğun manevi ve fiziksel kalbinde yer alan anıtsal camilerinde en görkemli şekilde sergilenir. Camilerde merkezi plan, caminin mimari düzenlemesinde ibadet alanının merkezinde genellikle büyük bir kubbenin yer aldığı, ibadet alanının bu kubbenin altına toplandığı bir plan tipini ifade eder. Bu tür plan düzeni, caminin iç mekânında bir merkezîlik ve bütünlük hissi oluşturmayı amaçlar. Merkezi plan tasarımı, Osmanlı cami mimarisinde özellikle 15. ve 16. yüzyılda zirveye ulaşmış ve Sinan'ın eserlerindeki iç mekânların düzenlenmesinde benzersiz bir rol oynamıştır. Anıtsal camilerin iç mekânlarında oluşan deneyimi, mekânın işlevselliği ve estetik değeri üzerinden anlamlandırmayı ve Sinan'ın bu yapıları tasarlarken kullandığı merkezi plan düzenlemelerinin bu mekânlara olan etkisi detaylı olarak incelendiğinde, Sinan'ın arayışının ipuçlarını bulmak mümkün olabilir.

Türklerin Anadolu'ya göçleri, Sanat ve mimari açısından zengin ve çeşitli bir kültürel mozağin oluşmasına neden olmuştur. Göçebe yaşam tarzından yerleşik düzene geçiş sürecinde, Türklerin sanatsal ifade biçimleri de gelişmiş ve çeşitlenmiştir. Bu gelişim, Selçuk Beylikleri ve ardından Osmanlı İmparatorluğu dönemlerinde önemli mimari yapılar ve sanat eserleri ile somut bir şekilde kendini göstermiştir. Selçuklu dönemindeki yapılar, özellikle Anadolu'nun coğrafi yapısına ve kültürel mirasına uygun olarak, o dönemin mimari tarzının örneklerini yansıtmıştır. Ancak, Türk mimarisinin zirvesi ve belki de en etkileyici dönüm noktası, 16. yüzyılda Mimar Sinan'ın eserleriyle gerçekleşmiştir. Osmanlı İmparatorluğu'nun en büyük mimarlarından biri, hatta birincisi olarak kabul edilen Mimar Sinan, kendinden sonrası için döneminin ötesinde bir miras bırakmıştır. Sinan, kendine özgü mimari tarzıyla yapıtlarında estetik, mühendislik ve fonksiyonelliği ustalıkla birleştirmiştir. Anıtsal camileri, köprüleri, sarayları ve diğer yapıları hem teknik açıdan çarpıcı hem de sanatsal anlamda muazzam örnekler sunar. Onun eserlerinde Türk kültürünün 16. yüzyıldaki bütün içeriğini bulmak mümkündür (Kuban, 1968).

Sinan'ın eserleri, Türk mimarisinin gelişiminde ve zenginleşmesinde dönüm noktalarından birini temsil ederken, aynı zamanda Anadolu'nun kültürel mirasının taşıyıcısı olarak da önemli bir role sahiptir. Sinan, imparatorluğun kültürel mimarisini kendi gözlem ve becerileriyle harmanlamış, özellikle de Ayasofya gibi çağları aşan bir mimari örnek, şüphesiz diğer mimarlara olduğu gibi ona da ilham vermiştir. Ancak Bizans'ın Osmanlı'nın eline geçen mimari kültür mirası Sinan'ın sanatını yeterince tanımayan ya da tanımak istemeyen batılı mimarlık ve sanat tarihçileri tarafından uzun süre onun sanatının etki hatta taklit ile geliştiği şeklinde değerlendirilmiştir. Avrupalı ve Amerikalı arkeologlar ile sanat tarihçileri, Sinan'ın mimari ustalığının, Türk sanatının zirvesini temsil ettiğini çok sonra anlamış ve Türk sanatının evrensel önemini ve etkisini kabul etmek durumunda kalmışlardır. Sinan'ın yapıtları, uluslararası düzeyde sanat ve mimarlık açısından önemli bir referans noktası oluşturmuş, bu da Türk sanatının evrensel çapta tanınmasına ve değer görmesine katkıda bulunmuştur.

Sinan'ın inşa ettiği yüzlerce yapı, sadece mimari açıdan değil, aynı zamanda estetik zenginlikleri, teknik ustalığı ve işlevsel anlayışıyla da dikkat çeker. Bu yapılar, döneminin mimari anlayışını en üst düzeyde

temsil etmekte olup, olağanüstü bir estetik duyarlılıkla şekillendirilmiştir. Sinan'ın eserleri, çeşitli işlevleri olan dini yapılar, köprüler, hamamlar, saraylar ve askeri yapılar gibi geniş bir yelpazede kendini gösterir. Estetik açıdan, yapılarında kullanılan süslemeler, kubbe tasarımları ve detaylar, döneminin ötesinde zamanın testini geçmiş bir estetik anlayışın izlerini taşır. Bu estetik zenginlik, Sinan'ın yapıtlarını sadece yapısal açıdan değil, aynı zamanda görsel anlamda da göz alıcı kılar. Ancak onun sanat yaşamındaki en büyük arzusu, cemaati gök kubbe gibi büyük bir kubbe altında toplayan, mekân birliği tam, aydınlık ve ferah bir cami inşa etmek olmuştur (Benian, 2011). Sinan'ın cami inşası, aldığı mimari ve kültürel mirası dikkate alarak, merkezi planı kullanarak yüzlerce ton ağırlığındaki kubbeyi hem işlevsel hem de estetik bir biçimde zemine taşımayı amaçlayan bir tasarım sürecidir (Akyürek ve Kahraman, 2021).

Sinan'ın sanatının inceliklerini hamamlardan köprülere, su yollarından küçük ölçekli cami ve mescitlere kadar inşa ettiği her yapıda görmek mümkündür. Ancak söz konusu olan anıtsal yapılar, mekânın şekillenmesine etki eden unsurlar da farklılaşır. Örneğin mekân örtüden bağımsız düşünülemezken, yapının statüğü ve mekân özellikleri de örtü ve destekleyici elemanları tarafından kısıtlanır. Özellikle merkezi planlama ile inşa edilen yapılarda mekân içerisinde taşıyıcıların ikinci plana itilmesi ve ayrıca örtü sistemi ile bunu destekleyen geçiş öğelerinin sorunsuzca çözülmesi problem haline gelir. Bu önemli sorunları çözüşteki ustalığı Sinan'ın mimari dehasının düzeyini gösterir. Sinan'a kadar geleneksel ve içe dönük cami yapısı, Sinan'la birlikte dışarıdan algılanan bir mimari düzene, alımlı cephelere kavuşarak Osmanlı mimarisinde yeni bir estetik anlayış ortaya koyar (Kuran, 1988).

İstanbul'un fethedildiği 1453 yılı ile 1535 yılları arasındaki dönem, mimarinin sanat alanında etkin olduğu bir dönemdir. Osmanlı İmparatorluğu'nun İstanbul dönemi mimarlık faaliyetlerinde önemli etkenler genellikle camilerin çevresinde şekillenmiştir. İstanbul'da Fatih, Beyazıt ve Sultan Selim camileri gibi fetihden sonra inşa edilen yapılar, Edirne Üç Şerefeli Camii gibi öncül prensipleri ortaya koyarak ve sağlam bir mimari anlayışı ilerleterek, Mimar Sinan'ın dönemine temel oluşturmuştur (Eker, 2016). Bu çalışmada Mimar Sinan'ın inşa ettiği camiler bağlamında değerlendirmeler yapılarak, özellikle Türk mimarisinin en seçkin örnekleri kabul edilen üç anıtsal yapısı, Şehzade, Süleymaniye ve Edirne Selimiye camilerinin merkezi plan şemaları analiz edilecek ve Mimar Sinan'ın mekânsal bütünlük anlayışı, kendi uygulamalarıyla ortaya konmaya çalışılacaktır.

2. Malzeme ve Metot

Bu çalışmada Mimar Sinan'ın üç önemli anıtsal camisi olan Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin CAD çizimleri temel materyal olarak kullanılmıştır. Bu çizimlerde, camilerin mimari planları ve yapısal elemanları detaylı bir şekilde yer almaktadır. Kullanılan CAD yazılımı, planların üç boyutlu olarak modellenmesine ve ışınların gönderilmesi sürecinin görselleştirilmesine olanak tanımaktadır. Öncelikle, Mimar Sinan'ın seçilen camilerinin CAD çizimleri temin edilmiştir. Bu çizimler, yapının mimari özelliklerini ve mekânsal organizasyonunu anlamak amacıyla detaylı bir

şekilde incelenmiştir. Her bir caminin planı, mimari tasarım ve fonksiyonellik açısından analiz edilmiştir.

İkinci aşamada, camilerin planlarının farklı noktalarından gözlem yapabilen bir kişinin perspektifinden analiz gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, caminin iç mekânındaki önemli noktalar ve sütunların konumları belirlenmiştir. Sütunlar, gözlemciye engel olabilecek unsurlar olarak değerlendirilmiştir. Sütunların ve diğer yapısal elemanların mekânsal etkilerini gözlemlemek amacıyla, her caminin planında belirlenen noktalardan ışınlar gönderilmiştir. Bu ışınlar, mekânın görünürlüğünü belirlemek ve gizli alanları tespit etmek için kullanılmıştır. Işınların gönderilmesi süreci aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir:

- Nokta Belirleme: İncelenen her camideki kritik gözlem noktaları belirlenmiştir.
- Işın Çizimi: Belirlenen noktalardan cami iç mekânına yönlendirilmiş ışınlar çizilmiştir.
- Veri Toplama: Işınların kesişim noktaları ve cami içindeki görünürlüğü etkileyen alanlar kaydedilmiştir.

Toplanan veriler, gözlemlenen alanların sayısal değerlerini içermekte olup, bu değerler görsel grafikler ve rakamsal tablo formatında düzenlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi, mekânsal bütünlük açısından yapıların performansını değerlendirmek amacıyla değerlendirilmiş ve mekânsal bütünlüğü etkileyen faktörler belirlenerek yorumlanmıştır. Son olarak, elde edilen bulgular, Mimar Sinan'ın cami tasarımındaki mekânsal bütünlüğü ve merkezi plan şemasının etkilerini ortaya koymak üzere tartışılmıştır. Camilerin mimari özellikleri ile mekânsal deneyim arasındaki ilişki ele alınarak analiz edilmiştir.

3. Bulgular

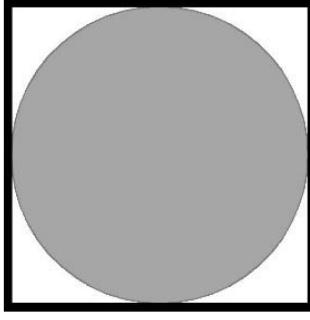
Türk sanatına yüzlerce eser vermiş olan Sinan'ın anıtsal yapıları olarak öne çıkan üç örnek, Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camileridir. 1538-39 yıllarında inşa ettiği (Cansever, 2005; Doğan, 1997) ilk yapı olan Haseki Hürrem Camii ile başlayan Sinan'ın serüveni (Kuran, 1973), hemen iki yıl sonra 1540 yılında inşasına başladığı Üsküdar Mihrimah Sultan Camii ile devam etmiştir. Yedi yılda tamamlanan bu eserin inşası devam ederken (Cansever, 2005; Orman, 2020), 1544 yılında ilk anıtsal camisi olan Şehzade Mehmet Camii'nin inşasına da başlamış (Orman, 2010) ve her iki eserini de 1548 senesinde tamamlamıştır.

Sinan'ın mekâna göre ideal örtü arayışları aslında bu üç eserle olgunluk seviyesine ulaşmıştır. Sinan'ın ilk yapılarından birisi olan Haseki Hürrem Camii, 11,30 m çapa sahip tek kubbeli ve tek mekânlı bir yapıdır (Şekil 1). Yapımından bir süre sonra yapının doğu duvarı iki ayağa taşıtılarak suretiyle bu kısma ilave edilen mekânla özgün planında değişikliğe gidilmiştir (Kuban, 1968). Yine eş zamanlı olarak inşa edilen Halep Hüsreviye Camii de aynı örtü şemasına sahiptir (Eyice, 1999). Burada tek kubbeli cami fikri, birer bölümü yanlardan taşan beş kubbeli son cemaat yerinin arka köşelerine eklenen mekânlar, kanatlı camiler fikri ile birleştirilmiştir (Aslanapa, 1989). Sinan'ın yapı planını doğrudan

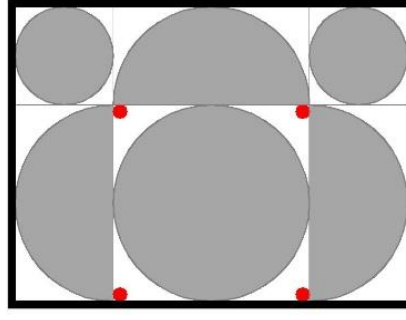
etkileyen örtü arayışları, bu yapılardan sonra inşasına başladığı eserlerde kendini çok açık olarak göstermektedir.

Türk mimarlığında harimin ana kubbeye eklenen yarım kubbelerle genişletilmesi uygulaması, İstanbul'un fethinden hemen sonra başlamıştır. Buradan, Ayasofya'nın örtü sisteminin sonradan inşa edilen eserlere doğrudan etkisinin olduğu sonucunu çıkarmak yanlış olmaz (Benian, 2011). Bu uygulamanın ilk örneği, 1470 yılında inşa edilen Eski Fatih Camii'nde karşımıza çıkmaktadır. Yapı, ana kubbenin güney tarafına eklenmiş bir yarım kubbe ile kuzey-güney yönünde genişletilmiştir. Sinan öncesi bir başka kubbe-yarım kubbe uygulaması ise 1505 yılında ibadete açılan İstanbul Beyazıt Camii'nde görülmektedir. Bu yapıda, Ayasofya'nın örtüsünden esinlenme çok bariz bir şekilde kendini göstermektedir. Beyazıt Camii'nde ana kubbe, kuzey-güney yönünde iki yarım kubbe ile; doğu-batı tarafları ise dörder küçük kubbe ile genişletilmiştir (Alioğlu, 2023).

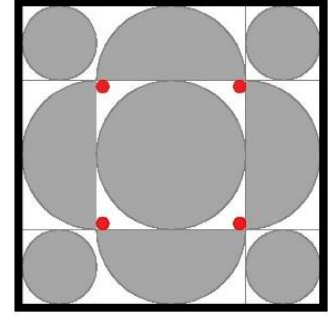
Mimar Sinan'ın ilk yarım kubbe denemeleri, ne kendinden önce inşa edilmiş olan Eski Fatih ve Beyazıt Camii'nin ne de Ayasofya'nın kopyası ya da benzeri değildir. Sinan, Üsküdar Mihrimah Sultan ve Şehzade Mehmet camilerinde kubbe-yarım kubbe varyasyonlarının, o zamana kadar denenmemiş iki farklı uygulamasını gerçekleştirmiştir. Üsküdar Mihrimah Sultan Camii'nde kubbeye güney, doğu ve batı yönlerde eklediği üç yarım kubbe ile harimi genişleten Sinan; Şehzade Mehmet Camii'nde ise ana kubbeye dört yönden eklediği yarım kubbelerle harim mekânını genişletme yoluna gitmiştir. Burada dikkat çeken bir başka husus da hemen hemen aynı tarihlerde ibadete açılan bu iki yapının örtü sisteminin inşasının da yaklaşık olarak eş zamanlı yürütülmüş olması durumudur. Sinan inşasına daha önce başladığı Şehzade Mehmet Camii'nde ana kubbeyi dört yönde inşa ettiği dört yarım kubbe ile desteklemiştir. Yarım kubbe problemini ilk defa ele aldığı bu eserinde Mimar Sinan, Ayasofya ve Beyazıt Camii plan şemalarını aşarak dört yarım kubbeli ideal bir merkezi planlı yapı meydana getirip Rönesans mimarlarının rüyasını gerçekleştirmiştir (Aslanapa, 1988; 1989). Sinan'ın bu eseri, büyük kubbeli anıtsal camilerinin ilkidir. Sinan için, bu boyutta bir yapı gerçekleştirmek, o zamana kadarki eserleri içinde büyük bir meydan okumaydı. İlk kez böylesine büyük bir mimari kompozisyonu hayata geçirmek ve gerekli teknolojiyi öğrenmek, onun için şüphesiz büyük zorluklar barındırmaktaydı. Bu nedenle, Sinan'ın Şehzade Mehmet Camii'nde, daha sonra inşa edeceği anıtsal camileriyle karşılaştırıldığında kararlı bir yaklaşımla basit ve işlevsel bir yapı inşa ettiği görülmektedir. Sinan'ın bu ilk prestij eseri, diğer büyük camileri ile karşılaştırıldığında bazı özgün dokunuşlarına rağmen sadece işlevini yerine getiren, gösterişten uzak bir yapı olarak öne çıkmaktadır (Güngör, 1988).



Haseki Hürrem Camii



Üsküdar Mihrimah Sultan Camii



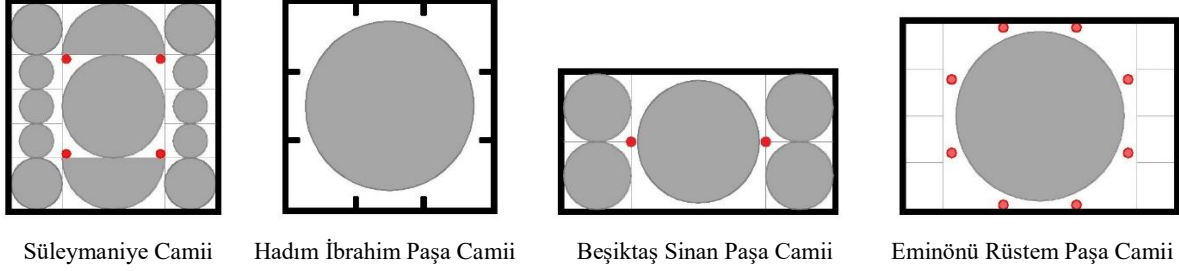
Şehzade Mehmet Camii

Şekil 1. Mimar Sinan'ın ilk inşa ettiği bazı camilerinin örtü şemaları

Sinan, Şehzade Mehmet Camii'nin iç mekânında, mimar Yakup Şah'ın II. Bayezid Camii'nin şadırvan avlusunda kullandığı çapraz eksenli planlamayı benimsemiş, bu yaklaşım, kare planlı bir mekânın doğasından kaynaklanan simetri gereksinimini karşılamak amacıyla dört yarım kubbeyle simetrik bir üst yapıya dönüştürülmüştür (Çamlıbel, 1998). 1547-48 yıllarında tamamladığı (Orman, 2020) Üsküdar Mihrimah Sultan Camii'nde ise ana kubbe doğu, batı ve güney yönlerinde yapılan yarım kubbelerle desteklenmiş, güney yönde mekân içindeki iki ayağa oturan ana kubbe, kuzey tarafta ise doğrudan duvarlara gömülü ayaklara taşınmıştır (Şekil 1).

Mimar Sinan, Şehzade Mehmet Camii'ni tamamladıktan kısa süre sonra, 1550 yılında, yine Türk sanatı için büyük önem taşıyan Süleymaniye Camii'nin inşasına başlamıştır (Mülayim, 2010). Sinan bir yandan bu eserin inşasıyla ilgilenirken, bir yandan da eş zamanlı olarak 1551 yılında tamamladığı Hadım İbrahim Paşa (Eyice, 2000); 1555-56 yıllarında tamamladığı Beşiktaş Sinan Paşa (Gündüz, 2009) ve 1561 yılında tamamladığı Rüstem Paşa (Tokay, 2008) camilerinin inşasını eş zamanlı olarak yürütmüştür. Bu süreç içerisinde inşa edilen yapılarının tamamı, örtü tekniği açısından birbirleriyle kıyaslandıklarında büyük farklılıklar göze çarpmaktadır (Şekil 2). Sinan bu süreçte Beşiktaş Sinan Paşa Camii'nde, kendinden çok önce Edirne Üç Şerefeli Camii'nde Mimar Muslihüddin ve Şehâbettin Usta tarafından (Çiçek Akçıl, 2012) uygulanmış olan bir şemayı küçük farklılıklarla tekrar kullanmıştır. Yapıda enine gelişen mekân, merkezde tek kubbe ile örtülmüş, kubbe kuzey-güney yönlerinde duvarlara, doğu-batı yönlerinde ise ana sahnin ve yan sahninleri ayıran eksenin ortasına yerleştirilmiş bir ayağa taşınmıştır. Eş zamanlı inşa edilen Hadım İbrahim Paşa ve Rüstem Paşa camileri ise, Edirne Selimiye Camii'nde en yetkin örneğini Sinan'ın elinde bulan, sekizgen taşıyıcılı sistemin farklı iki denemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. 1551 yılında tamamlanan Hadım İbrahim Paşa Camii'nde mekânı genişletmek ve aynı zamanda tek kubbenin baskısını karşılayabilmek için giriş duvarının iç tarafında, ileri taşan ayaklar arasında küçük bölmeler meydana getirilmiştir (Eyice, 2000). Cami, mimari yapılanmada tek kubbe ile örtülü olan kübik bir yapıdan farklı olarak, kubbenin sekiz destek üzerinde taşındığı bir sistemde örnek olarak kabul edilmektedir. Bu yapı, Türk mimarlığının evrim süreci içerisinde önemli bir yer tutmakta olup, iç mekândaki duvar payelerinin oluşturduğu destekler aracılığıyla, sekiz destekli camilerin öncüsü olarak kabul edilmektedir (Denkhalbant Çobanoğlu, 2019).

Sinan'ın, Süleymaniye ile eş zamanlı inşasını yürüttüğü bir diğer yapı olan Eminönü Rüstem Paşa Camii, 1561 yılında tamamlanmıştır (Tokay, 2008). Bu eser de Hadım İbrahim Paşa Camii gibi sekiz dayanaklı cami örneklerinden olup, Sinan bu yapıda deneyimlediği plan tipinin en gelişmiş örneğini daha sonra Edirne Selimiye Camii'nde uygulamıştır (Giray Küçük, 2020).



Şekil 2. Süleymaniye Camii ve eş zamanlı inşa edilen bazı camilerin örtü şemaları

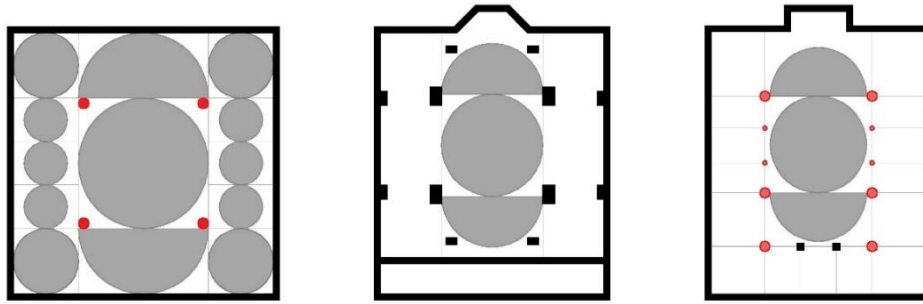
İnşası yedi yıl süren (İnan, 1968) Süleymaniye Camii, şüphesiz Mimar Sinan'ın en dikkat çekici eserlerinin başında gelir. Caminin odak noktasına yerleştiği külliye kompleksi, Sinan'ın sanat ve mimaride zirveye çıktığı bir büyük eser olarak kalmamış, Osmanlı Devleti'nin siyasi ve askeri anlamdaki ihtişamını taçlandıran bir sanat şaheseri ve bu topraklarda yükselen bir medeniyetin simgesi olarak kabul edilmiştir (Aksay, 2009). Sinan bu eserinde ilk defa iki yarım kubbeli planlamayı deneyerek, yeni eseri için en uygun oranları aramıştır (Aslanapa, 1989). Bu yapı kütle bakımından Sinan'ın inşa ettiği en büyük eserdir. Sinan, Şehzade'deki deneyimleri sayesinde büyük yapı tekniklerini tecrübe etmiş olmanın verdiği özgüvenle, Süleymaniye Camii'nin yapımına heyecanla başlamış, daha karmaşık bir düzenlemeyle, mekâna ve yapıya önemli estetik değerler katarak, üst düzeyde mesleki bir birikim ve teknoloji sergilemeyi başarmıştır. Zorlandığı noktalara rağmen çevreye uyumlu, etkileyici ve özgün bir kütle plastiğiyle Süleymaniye Camii, gelecekte Selimiye gibi önemli yapıların habercisi olmuştur (Güngör, 1988).

Bu yapıda merkezi kubbenin kuzey-güney yönünde yarım kubbelerle destekleniyor olması ve doğu-batı taraflarına eklenen yan sahnalar, eseri Ayasofya'nın üst örtüsüne benzer hale getirmiştir (Şekil 2). Bu tespit, ilk anda doğru gibi görünmekle beraber, aslında her iki yapının üst yapı sistemi arasında büyük bir fark söz konusudur. Ayasofya'nın üst yapı düzeni, alt yapısındaki tasarımın devamı niteliğindedir. Bu, kare planlı bir ana kütle için yerleştirilmiş bazilika formuna uygun bir örtü sistemi anlamına gelir. Bu yapı, merkezi kubbeyi ve yan nefleri kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Diğer yandan, Süleymaniye Camii'nde, bütüncül bir yaklaşım sergilenmiştir. Burada, iç mekânın tamamını kapsayan ve güçlü bir şekilde tanımlayan bir üst yapı sistemi vardır. Yani, Süleymaniye'de üst yapı, yalnızca bir örtü değil, iç mekânın genel düzenini de biçimlendiren bir unsurdur (Çamlıbel, 1998).

Sinan, başta Ayasofya olmak üzere kendinden önce inşa edilmiş yapıları gerek statik ve gerekse estetik açıdan detaylıca incelemiştir. Ancak o, incelediği eserleri doğrudan taklit etmemiş, onlarda statik ve estetik açıdan gördüğü hata ve noksanları düzeltme yolunu yeğlemiş, tekrara düşmeyen sanat anlayışıyla Türk mimarlığını zirve noktasına ulaştırmıştır. Süleymaniye Camii'nin inşasını tamamladıktan sonra sarfettiği “Direksiz kümbedin altında elhak Ayasofyeye gibi asla olubdur kubbesi andan muazzam bina

oldu. Hüdanın lütfu rehber” diyerek strüktür açısından Ayasofya’dan daha muazzam bir eser meydana getirdiğini beyan etmesi, bu yapıyı detaylı olarak incelediğinin bir göstergesidir (Akmandor, 1968). İkisi de birer ibadet yapısı olmakla beraber, cami ve kilise olarak farklı mekân kurgularına ihtiyaç duyan bu yapıların zaten tam anlamıyla birbirinin kopyası olmaları imkânsızdır. İbadet yapısı olmasının yanı sıra, aynı zamanda bir tören yapısı da olan Ayasofya’nın yan nefleri, törenlerde izleyicilere tahsis edilen alan olarak değerlendirildiği için ana neften mekânsal anlamda bilerek ve isteyerek soyutlanmıştır. Süleymaniye’de ise, kubbe altında toplu namaz kılmaya daha elverişli bir plan arayan Sinan, yan sahnaları merkezi sahına bağlayarak bu amaca daha iyi hizmet edecek toplu ve rahat bir mekân oluşturmuştur. Özetle Ayasofya’da üst yapı düzeni alt yapının bir devamı iken, yani karesel bir mekân içine yerleştirilen bazilikayı tamamlayan tabii örtü, Süleymaniye’de kendisi bir bütün olan iç mekânı örten bir üst yapı sistemine dönüşmüştür (Kuran, 1968).

Sinan, Süleymaniye Camii’ni tamamladıktan yaklaşık 22 yıl sonra inşa ettiği ve 1580 yılında tamamladığı Tophane Kılıç Ali Paşa Camii’nde (Eyice, 2012) Ayasofya ile büyük oranda örtüşen bir plan kullanmıştır. Son dönem eserlerinden olan bu eser, aynı plan şemasındaki Süleymaniye’den mekân anlayışı bakımından farklıdır (Şekil 3). Eser, bazı özellikleri dolayısıyla, örneğin yan mahfillerin orta mekâna kadar yanaşması bakımından Ayasofya ile büyük benzerlik ortaya koyar (Günay, 2005). Ayrıca, kuzey-güney yönünde yarım kubbenin örttüğü mekânın arkasına çapraz tonozlarla örtülü ikinci bir mekân eklenerek uzatılmış olması Ayasofya’nın narteksini hatırlattığı için, bu durum her iki yapının benzerliğini pekiştirir (Göknil, 1987).



Süleymaniye Camii

Ayasofya Camii

Kılıç Ali Paşa Camii

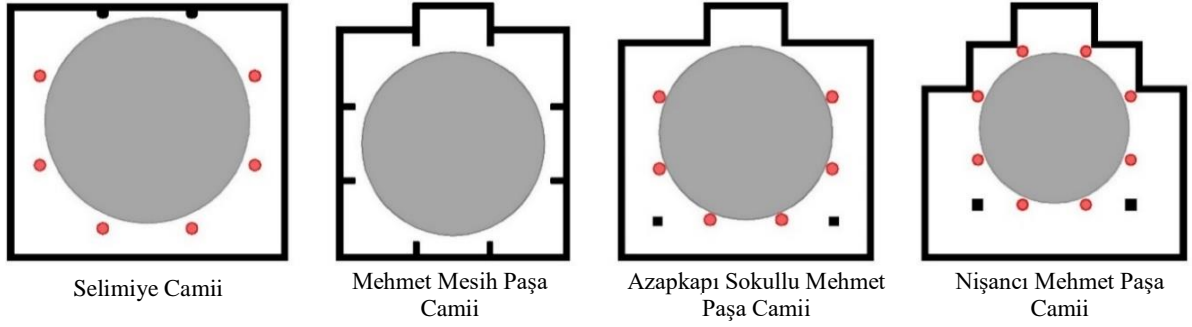
Şekil 3. Süleymaniye, Ayasofya ve Kılıç Ali Paşa camilerinin plan şemaları

Sinan Selimiye Camii’ni 86 yaşında iken, 1574 yılında tamamlamıştır (Mülayim ve Çobanoğlu, 2009). 1568 yılında bu eserin inşasına başladıktan bir süre sonra, başta İstanbul olmak üzere Bosna, Lüleburgaz, Hafsa, Payas ve Büyükçekmece’de Sokollu Mehmet Paşa adına birçoğunda cami yapılarının da bulunduğu külliye ve farklı eserler inşa etmesinin yanı sıra (Özcan, 1988), Piyale Paşa Camii (Tanman, 2007) gibi küçük ölçekli camileri de eş zamanlı olarak yapmış ve bu yapılarını Selimiye’den önce tamamlamıştır. Mimar Sinan en önemli eseri olan Selimiye’de sekizgen baldaken sistem ile sekizgen tabana oturan kubbe şeması kullanmıştır. Başta Anadolu Selçuklularının türbe yapıları olmak üzere camilerden çok önce küçük ölçekli yapılarda denenmiş olan bu sistem, Sinan tarafından bir cami yapısında ilk kez 1551 yılında tamamladığı Hadım İbrahim Paşa Camii’nde

kullanılmıştır. Yine Selimiye'den çok önce, 1553 yılında tamamladığı Rüstem Paşa Camii'nde sekizgen planlı tabana oturttuğu kubbe bu sistemi kullanmış ve iç mekânda birbirinden uzakta ve yan kısımlara yakınlaşmış dört ayak ile kubbe altı sahninin tüm mekâna olan hakimiyetinin artırılmasını amaçlamıştır (Şekil 2). Sinan bu öncü dememelerinden sonra Selimiye Camii'ni inşa etmiştir. Sinan, muhtemelen kubbe çapının genişlemesiyle ideal bir yük dağılımı için destek noktalarının artırılması gerekliliğinin farkında olduğundan, ilk olarak küçük ölçekli kubbe yapılarında testlere başlamış ve daha sonra Selimiye gibi büyük ölçekli bir projeyi gerçekleştirmiştir. Sinan'ın Selimiye'de elde ettiği iç mekân bütünlüğü Osmanlı mimarisinin ulaştığı en üst noktayı temsil eder. Mekâna hakim tek büyük kubbe, bu bütünlük duygusunu büsbütün vurgular ve eşi benzeri olmayan bir cami ortaya çıkartır (Aksay, 2009). Selimiye'de, iç mekânla dış görünüşün tamamen kaynaşmış olduğu muazzam kubbe, bütün dünyada kubbe mimarisinin gelişiminin en ileri noktası olarak görülebilir (Aslanapa, 1989). Sinan, geniş ve zengin iç mekânı arzuladığı için Selimiye Camii'nde, dikkatlice planlanmış bir yapı strüktürü kullanarak bu isteğini gerçekleştirmiştir. Ancak, büyük çaplı ana kubbe hem içeride hem de dışarıda tüm odak noktasını üzerinde toplamakta, mekânın tek başına örttüğü %37'lik bir oranına rağmen, sanki mekânın tamamının kubbenin altında gibi algılanmasını sağlamakta ve adeta tüm mekânı kaplamış gibi bir his uyandırmaktadır (Güngör, 1988).

Mimar Sinan'ın ilk cami tasarımı ile başlayan ideal mekân arayışı, Selimiye Camii'nden sonra da devam etmiştir. Sinan'ın, Selimiye gibi anıtsal bir eserde en mükemmel sonuca ulaşan sekizgen tabanlı örtü kullanımı bu yapı ile sınırlı kalmamış, daha sonra inşa ettiği küçük ölçekli yapılarında da bu sistemi en ideal çözüm olarak deneyimlemeye devam etmiştir. Örneğin Selimiye'den yaklaşık 10 yıl sonra, 1585-1586 yılları arasında inşa ettiği Fatih Çarşamba'daki Mesih Mehmed Paşa Camii'nde yine sekizgen tabana oturan örtü sistemini kullanmıştır (Şekil 4). Sinan'ın ideal mekân arayışında altıgen tabanlı örtü sistemi de önemli bir yer tutmaktadır. Türk mimarlığının erken örneklerinin ilki olarak Edirne Üç Şerefeli Camii'nde karşımıza çıkan altıgen tabanlı örtü sistemi Sinan tarafından farklı yapılarda denenmiştir. Örneğin Sinan 1555 yılında inşa ettiği Beşiktaş Sinan Paşa Camii'nde (Arslan, 2022) altıgen tabanlı örtü sistemini uygulamışken, sekizgen tabanlı örtü sistemine sahip Edirne Selimiye Camii'nden daha sonra 1583 yılında inşa ettiği Üsküdar Valide-i Atik Camii'nin (Tanman, 1991) örtü sisteminde yine altıgen tabanlı örtü sistemi kullanmıştır.

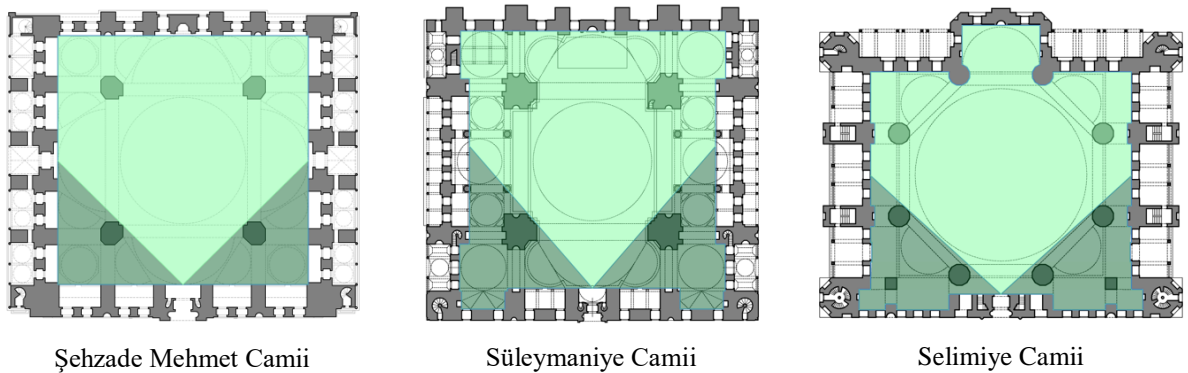
Mimar Sinan'ın sekizgen tabanlı baldaken sistemi kullandığı son yapılarından biri ise, 1577-78 yıllarında inşa ettiği Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'dir. Bu yapıda, Sinan, Edirne Selimiye'deki gibi merkezi baldakeni oluşturan sekizgen ayaklara ek olarak, kuzeydeki iki payenin yanlarına, ana taşıyıcı işlevi gören kare kesitli ek ayaklar eklemiştir. Sinan'ın son dönemlerinde, bu kadar tecrübe ve deneyimlerinden sonra yenilikler denemeye devam ettiği birçok caminin sekizgen kaideli olması önemli bir noktadır (Erzen, 1981). Öte yandan, Sinan'ın son eseri olarak kabul edilen ve onun ölümünden sonra mimar Davud Ağa'nın tamamladığı düşünülen Karagümrük Nişancı Mehmet Paşa Camii'nde, yapının dış cephe kurulumunda klasik kompozisyonun monotonluğunu gidermek amacıyla kible yönüne doğru yapısal bir değişiklik yapmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Selimiye Camii ve sonrasında inşa edilen bazı camilerinin örtü şemaları

Mimar Sinan'ın eserlerinde mekân bütünlüğü arayışı, mimari anlayışının temel taşlarından birini oluşturur. Sinan'ın anıtsal camilerinde, mekânın bütünsel denge içinde oluşturulması, yapıların iç ve dış mekânlarının uyumlu bir şekilde birbirine bağlanması büyük önem taşır. Bu bütünlük, cami avlularının planlamasından başlayarak ana ibadet mekânının tasarımına kadar uzanır. Sinan, yapılarında genellikle kubbe ve kemerlerin uyumlu bir şekilde bir araya geldiği bir mimari dille estetik bir bütünlük oluşturmayı hedefler. Büyük kubbe ve minareler, yapıların görsel simgeleri olmakla birlikte, bu yapı elemanları iç mekânın genişliği ve ışığın akışıyla da bir araya gelerek izleyiciye derinlik ve bütünlük hissi verir. Sinan'ın anıtsal camilerindeki bu mekânsal bütünlük arayışı, Osmanlı mimarisinin estetik ve işlevsel özelliklerini birleştirerek benzersiz ve etkileyici yapılar ortaya çıkarmıştır.

Sinan'ın anıtsal üç camisinin mekân bütünlüğü ve bu yapıların önemli bazı noktalarından mekâna hakimiyet incelendiğinde, bu analiz hem büyük ustanın yapılarında aradığı unsurların olumlu etkilerini ortaya koyar hem de bu anıtsal camilerin neden çiraklık, kalfalık ve ustalık eserleri olarak kabul edildiğine dair ipuçları sunar. Bu değerlendirme, Sinan'ın eserlerindeki mimari titizliği, mekân kullanımının dengesi ve mekânın çeşitli noktalarından algılanan hakimiyetin önemini açıkça göstermektedir.



Şekil 5. Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin girişlerinde mekân görüş açıları

Sinan'ın ilk anıtsal boyuttaki yapısı olan Şehzade Mehmet Camii, mekândaki fil ayaklarının kapladığı alanlar da dahil olmak üzere yaklaşık 1414 m²'lik bir alana sahiptir. Eserin iç mekânına girildiği anda, güneydeki iki fil ayağı mekânın görüş açısını etkileyen doğal ve kaçınılmaz engel olarak dikkati çeker. Giriş noktasına göre doğal görüş açısını sınırlayan bu iki fil ayağı, mekânın bütününün ancak yaklaşık 91°'lik açı ile algılanmasına izin verir (Şekil 5).

Sinan'ın en büyük anıtsal yapısı olan ve kalfalık eseri olarak değerlendirilen Süleymaniye Camii'nde ibadet mekânının net alanı yaklaşık 3560 m²'dir. Bu alana kubbeyi taşıyan devasa fil ayaklarının izdüşüm alanı da dahildir. Süleymaniye'de ana kubbeyi taşıyan fil ayaklarından kuzeydeki ana girişe yakın konumlanan ikisi, Şehzade'ye göre daha dar, yaklaşık 82°'lik bir açı ile mekâna bakış açısı sağlamaktadır (Şekil 5; Tablo 1).

Tablo 1. Mimar Sinan'ın anıtsal camilerinin giriş ve kubbe merkezinden mekân görünümüne ait sayısal veriler

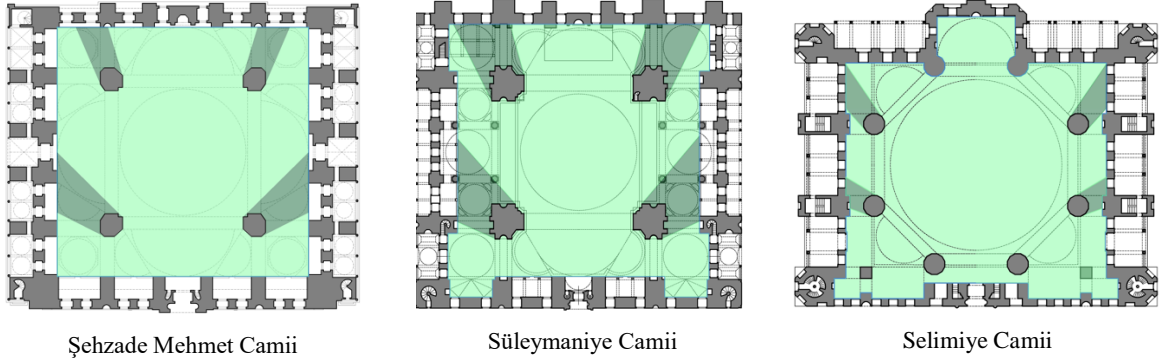
Özellikler	Şehzade Mehmet	Süleymaniye	Selimiye
Harim mekânının toplam alanı	1414 m ²	3560 m ²	2100 m ²
Ana girişten mekânın görüş açısı	91°	82°	96°
Ana girişten mekânın görünmeyen alanı	164 m ²	596 m ²	100 m ²
Ana girişten mekânın görünürlük oranı	%88	%83	%95
Kubbe merkezinden mekânın görünen alanı	1244 m ²	2705 m ²	1995 m ²
Kubbe merkezinden mekânın görünürlük oranı	%88	%76	%93

Selimiye'de üzerine kafa yorulmuş örtü sistemi Sinan'ı sekiz sütunun taşıdığı sekizgen tabana oturan kubbe kullanmaya yönlendirmiş ve o da yaklaşık 2100 m²'lik ibadet mekânına olumlu yansımıştır. Sekizgenin geometrik özelliği olarak birbirinden uzaklaşan karşılıklı sütunlar, doğal olarak mekâna girişin sağlandığı kapıya yaklaşmış ve bu da girişteki görüş açısını 96° ile gerek Şehzade Mehmet ve gerekse Süleymaniye camilerine göre çok daha ideal bir değere çıkarmıştır (Şekil 5). Sinan, Şehzade Mehmet ve Süleymaniye camilerinde yan ve arka sahnin mekânsal kurgu içerisinde kendilerine özgü üst örtü ile birlikte bizzat kullanmışken, Selimiye de ise kubbe altı sahninin sınırları zorlayacak şekilde büyümesi ile yan ve özellikle de arka sahnin tamamen ortadan kalkmıştır. Bu sebeple Selimiye'nin kuzeydeki iki sütunu ile kuzey duvarı arasında kalan boşluğu aktif ibadet alanı kurgusu dışında tutarsak, zaten çok iyi durumda olan görüş açısının 110°'nin üzerine çıkacağını değerlendirmek mümkündür (Şekil 5).

Mimari tasarım, bir mekâna giriş anında sağlanan ferahlık duygusunu ve görsel hakimiyetin önemini belirleyici bir şekilde etkiler. Mekânın giriş noktası, ziyaretçinin ilk izlenimi ve algısı açısından kritik bir role sahiptir. Bu noktada, mekânın ferah ve geniş bir hissiyat sunması, ziyaretçide hoş bir karşılama duygusu uyandırır. Ferahlık, genellikle mekânın düzeni, kullanılan renk paleti, ışıklandırma ve açık alanlar gibi unsurlarla ilişkilidir. Ayrıca, girişteki mekâna hakimiyet duygusu, ziyaretçinin mekânın genel yapısını ve düzenini anlamasına yardımcı olur. Bu hakimiyet, genellikle mekânın açık bir düzeni, odak noktaları ve görünürlüğü artıran bir tasarımı içerir. Bu unsurlar bir araya geldiğinde, ziyaretçinin giriş anında ferah bir hissiyat yaşaması ve mekânın görsel yapısını anlaması, mimari tasarımın mekâna girişteki önemini vurgular. Çalışmada bahse konu camiler bu çerçevede incelendiğinde Sinan'ın bu durum üzerine de özellikle yoğunlaşmış olduğu anlaşılır.

Şehzade Mehmet Camii'nin ana girişinde, 1414 m²'lik alanın yaklaşık 1250 m²'lik bölümü, mekâna ilk adım atıldığı anda doğrudan algılanabilir durumdadır. Bu durum, mekânın %88'lik bir kısmının girişten

itibaren doğrudan algılanabilir olduğunu göstermektedir (Şekil 6). Bu oran, Sinan'ın ikinci anıtsal yapısı olan Süleymaniye'de %83 iken, Selimiye'de ise %95 gibi inanılmaz bir değere ulaşır.



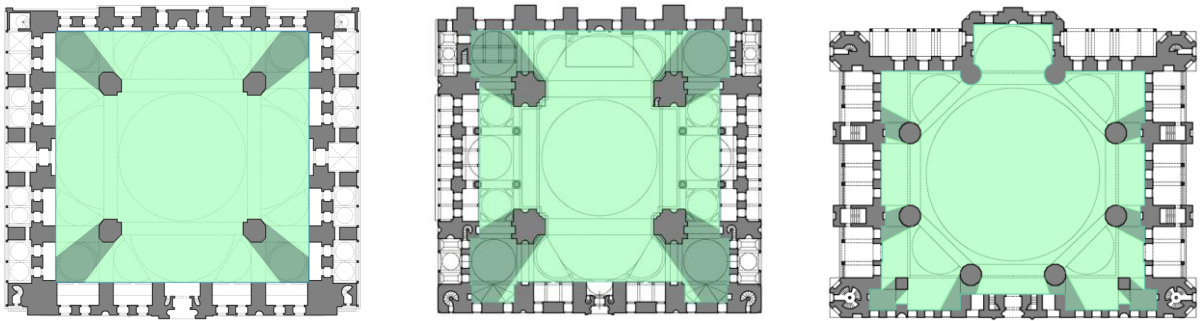
Şehzade Mehmet Camii

Süleymaniye Camii

Selimiye Camii

Şekil 6. Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin girişinde mekân görünürlüğü

Aynı eserler ibadet mekânının kubbe izdüşüm merkezinin tüm mekâna hakimiyeti açısından değerlendirildiğinde de ortaya ilgi çekici sonuçlar çıkmaktadır. Özellikle kubbe altı olgusu, merkezi plan şemasına sahip camilerde ayrı bir önem kazanmış ve bu kısım, tüm mekânın işlevsellik açısından en değerli ve örtü bakımından da üzerinde düşünülmesi gereken bölümü haline gelmiştir. Bu bağlamda Şehzade Mehmet Camii'nin kubbe altı sahnının merkezinden iç mekân 360°'lik bir turla gözlemlendiğinde, kubbeyi taşıyan dört adet fil ayağının, 1414 m²'lik mekânın yaklaşık 170 m²'lik bir kısmının doğrudan görünmesine engel teşkil ettiği anlaşılmaktadır. Başka bir ifade ile böyle bir gözlemde mekânın %88'i görünür durumda iken, %12'lik bir kısmı ise statik sorunların çözümü amacıyla ortaya çıkan zorunlu sebeplerle "kuytuda" kalmaktadır (Şekil 7). Aynı gözlem Süleymaniye Camii'nin kubbe altında yapıldığında yaklaşık 206 m²'lik bir alana oturan devasa fil ayaklarının, mekânın yaklaşık 596 m²'lik bir kısmının, yani toplam alanın %17'sinin görünümünü engellediği, bir başka ifadeyle ancak %83'lük kısmının doğrudan görünmesine izin verdiği anlamına gelmektedir.



Şehzade Mehmet Camii

Süleymaniye Camii

Selimiye Camii

Şekil 7. Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin kubbe altında mekân hakimiyeti

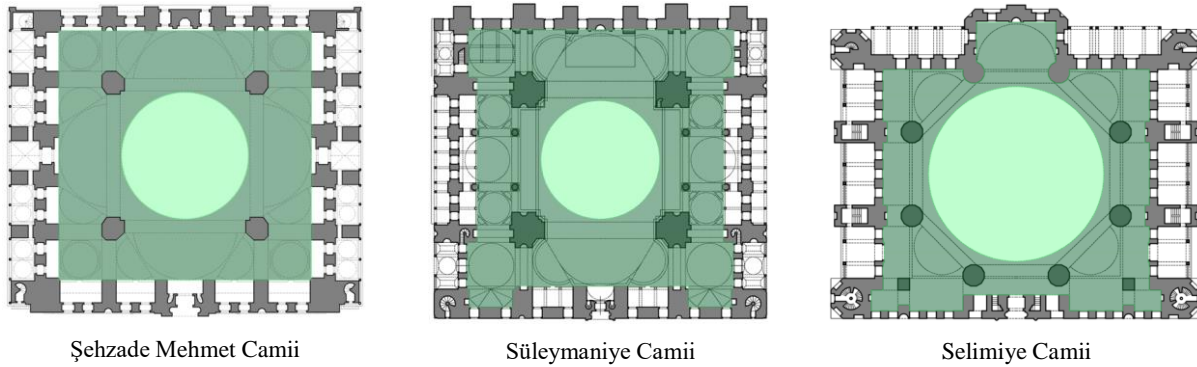
Selimiye Camii'nin kubbe altında mekân bir bütün olarak gözlemlendiğinde, yaklaşık 93 m² taban alanına sahip sekiz adet ayağın, mekânın sadece %4'ünün görünümünü engellediği, yani alanın yaklaşık %96'sının çok rahat bir şekilde görünür olduğunu ifade etmek mümkündür (Şekil 7). Bu sonuç, Selimiye Camii'ni Sinan'ın diğer anıtsal camilerinden farklı kılan en önemli özelliklerden birisidir (Tablo 2).

Örtü, bir yapıda konstrüksiyonunun çözülmesi gereken temel sorunlarının başında gelir. Çünkü sorunsuz kurgulanamayan bir örtü sistemi, işlevsellik sorunlarıyla ortaya çıkan mekânların ana sebebidir. Özellikle kombine örtü sistemlerinin kullanıldığı anıtsal yapılarda her bir örtü türünün hem kendisinin sorunsuz olarak sisteme katkı sağlaması hem de gerek teknik ve gerekse estetik anlamda birlikte kullanıldığı diğer örtülerle bir uyum ortaya koyması gerekir. Sinan'ın Şehzade'de ilk kez kullandığı dört yarım kubbe, ister istemez ön, yan ve arka sahnaların ölçüsünü belirlemiş ve optimum sınırlar içerisinde ölçeklendirdiği bu eserinde, yarım kubbelerin ona sağladığı avantajı kullanarak merkezi kubbe çapını fazla zorlama ihtiyacı hissetmemiştir. Anıtsal üç eseri içinde 19 metrelik çapı ile en küçük kubbeye sahip Şehzade Mehmet Camii'nde merkezi kubbe, yaklaşık 284 m²'lik izdüşümüyle ibadet alanının yaklaşık %20'lik kısmını tek başına örtmektedir (Şekil 8).

Tablo 2. Mimar Sinan'ın anıtsal camilerinin mekân ve ana kubbelerine ait sayısal veriler

Özellikler	Şehzade Mehmet	Süleymaniye	Selimiye
Harim mekânının toplam alanı	1414 m ²	3560 m ²	2100 m ²
Ana kubbe çapı	19,00 m	27,50 m	31.30 m
Ana kubbe izdüşüm alanı	284 m ²	594 m ²	770 m ²
Ana kubbenin tüm örtüye oranı	%20	%17	%37
Kubbe taşıyıcı ayak sayısı	4	4	8
Toplam taşıyıcı taban alanı	40 m ²	206 m ²	91 m ²
Her bir taşıyıcıya düşen kubbe alanı	71 m ²	148,5 m ²	96,25 m ²

Süleymaniye Camii'nin kubbesi, 27,5 metrelik çapı ile yaklaşık 590 m²'lik bir izdüşüm alanına sahiptir. Sinan bu eserinde daha önce Şehzade'de deneyimlediği anıtsal kubbe tecrübesini, kendi sınırlarını zorlayarak, örttüğü alan bakımından Şehzade'ye göre iki katından daha fazla artırmıştır. Bununla beraber, Süleymaniye'de merkezi kubbenin tüm mekân üzerinde örttüğü alan, oransal olarak yaklaşık %17'de kalabilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin mekân örtülerinde ana kubbenin katkısı

Selimiye Camii, 31 metreyi aşan kubbe çapı ile bütün örtü sistemini tek kubbe üzerinde odak haline getirdiği bir yapı olarak Mimar Sinan'ın tasarım ve mühendislik zekâsının bir ürünüdür. Her taraftan son sınırlarına kadar genişletilmiş tek kubbe ile örtülü mekân, girer girmez insanı adeta sihirli bir

kuvvetle sürükleyip, başka bir dünyaya yönlendirmektedir (Aslanapa, 1989). Kubbe, yaklaşık 770 m²'lik izdüşüm alanı ile 2100 m²'lik ibadet alanının %37'sine yakın kısmını tek başına örter. Bu özelliklere sahip kubbe, Selimiye Camii'nin içte dışta tek hakim ögesidir (Şekil 8). Sinan'ın Sâi Mustafa Çelebi'ye anlattığı anıları içinde, bu kubbeden bahsederken;

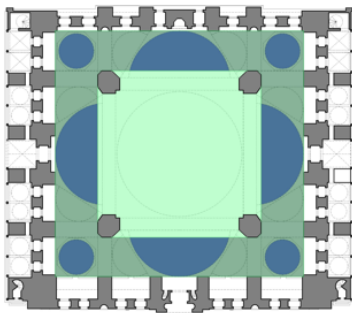
“Ayasofya kubbesi gibi bir kubbe devleti islâmiyyede bina olunmamışdır, deyu keferi fecerenin mimar geçinenleri müslümanlara galebemiz var derler imiş. O kadar kubbe durdurmak gayet müşküldür dedikleri bu hakirin kalbinde kalmışdır. Mezbur cami binasında himmet idüb biavnillâ hitaalâla sayei Sultan Selim handa izharı kudret idüb bu kubbenin Ayasofya kubbesinden altı zira' kaddin ve dört zira' derinliğin ziyade eyledim” (Refik, 1931)

cümleleri ile Ayasofya'nın kubbesini geçecek bir kubbe inşasının içinde ukde olarak kaldığı ve bunu kendisine amaç edindiği anlaşılmaktadır.

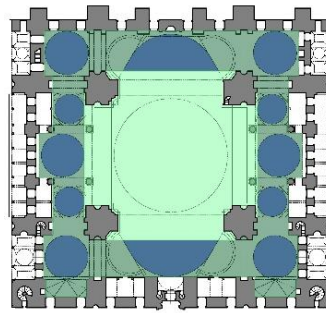
Mimar Sinan'ın tercih ettiği örtü sistemlerindeki farklılıklar, Selimiye Camii'nin tasarımıyla öne çıkmaktadır. Özellikle, daha önceki anıtsal camilerinde kullanmış olduğu dört ayağa oturan baldaken sistem yerine Selimiye'de merkezi kubbe için fazla sayıda ayakla taşınan bir örtü sistemini seçmesi, mekânın işlevi ve yapısal bütünlüğü açısından önemli bir değişimi beraberinde getirmiştir.

Mimar Sinan'ın sadece mükemmel bir tasarımcı değil, aynı zamanda olağanüstü bir yapı mühendisi olması, eserlerini dönemin diğer yapılarından önemli ölçüde farklı kılmıştır. Selimiye Camii'nde, o zamana kadar İslam dünyasında yapılmış en büyük kubbenin inşası, taşıyıcı elemanların mekân içindeki hacmini önemli ölçüde azaltmıştır. Bu durum, eseri sadece mimari açıdan değil, aynı zamanda bir mühendislik şaheseri olarak da öne çıkarmıştır. Sinan, taşıyıcı elemanların mekân içinde kapladığı alanı azaltarak geniş ve işlevsel bir merkezi mekân oluşturmayı amaçlamıştır. Ayrıca, kubbenin taşınmasında kullanılan ayaklarla beden duvarlarını kemerlerle bağlayarak, ayakların mekânın estetiğini bozmasının önüne geçmiş ve ideal bir denge elde etmiştir.

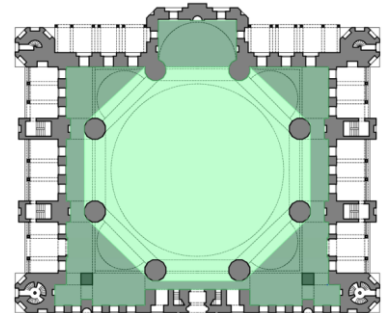
Öte yandan, Şehzade Mehmet ve Süleymaniye camilerinde kullanılan örtü çözümleri genellikle kubbe ve yarım kubbelerle sağlanmışken, Selimiye'de kullanılan sekizgen tabana oturan sistem, ekstra örtü detaylarını gerektirmemiştir. Sadece sekizgenin kareye dönüşümünde köşelerde oluşan alanların tonoz bingi ile geçilmesiyle bu sorun basit bir şekilde çözülmüştür (Şekil 9).



Şehzade Mehmet Camii



Süleymaniye Camii



Selimiye Camii

Şekil 9. Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camilerinde baldaken taşıyıcı ve mekân ilişkisi

4. Tartışma

Mimar Sinan'ın anıtsal camilerinde mekânsal bütünlüğü sağlayan ve görsel hakimiyetin güçlendiği tasarım anlayışları, her bir yapının gelişiminde farklı evreler göstermektedir. Şehzade Mehmet Camii ile başlayan bu süreç, Süleymaniye ve Selimiye camilerinde belirgin şekilde gelişmiştir. Sinan'ın erken dönem yapılarında, özellikle Şehzade Mehmet Camii'nde, kubbenin taşıyıcı sisteminin mekân üzerindeki etkisi daha sınırlı kalmış, ancak zamanla daha karmaşık yapısal ve görsel çözümler geliştirilmiştir. Bu camilerde kullanılan fil ayakları gibi ağır taşıyıcı elemanlar, mekânın algılanabilirliğini sınırlayan engeller oluşturmuş, bu da Sinan'ın ileri dönemlerde daha özgür bir tasarım dili geliştirmesine zemin hazırlamıştır.

Şehzade Mehmet Camii'nin 1414 m²'lik alanı içinde, fil ayaklarının görsel engelleri, mekânın sadece %88'inin girişten itibaren doğrudan algılanabilir olmasına neden olmuştur. Bu sınırlama, Sinan'ın mekân algısını ve girişteki ferahlık hissini ön plana çıkarma çabasının ilk örneği olarak değerlendirilebilir. Öte yandan, Süleymaniye Camii'nde, kubbeyi taşıyan devasa fil ayakları mekâna bakış açısını %83'e kadar daraltırken, Selimiye Camii'nin kubbe altı tasarımı, bu oranı %96'ya çıkararak mekânda büyük bir görsel özgürlük sağlamıştır. Bu ilerleme, Sinan'ın tasarımda odak noktasını daha minimalist bir şekilde, mekânın estetiğine daha fazla önem vererek konumlandığını göstermektedir.

Sinan'ın, özellikle Selimiye Camii'ndeki kubbe tasarımındaki yenilikçi yaklaşımı, sadece görsel algıyı değil, aynı zamanda yapısal bütünlüğü de derinden etkilemiştir. Selimiye Camii'nin 31 metre çapındaki kubbesi hem büyüklük hem de taşıyıcı elemanların mekân içindeki hacmini azaltma açısından Sinan'ın mühendislik zekâsının bir yansımasıdır. Kubbenin yaydığı ferah his, ibadet alanındaki merkezi mekânın işlevselliğini artırmış ve ziyaretçiye derin bir manevi deneyim sunmuştur. Bu tür yapısal yenilikler, Selimiye'yi diğer anıtsal camilerden ayıran başlıca özelliklerdir.

Sinan'ın kubbe tasarımındaki evrimi, sadece yapısal bir çözüm arayışı değil, aynı zamanda dini mekânın fonksiyonel ve estetik açıdan nasıl dönüştürülebileceğine dair bir sorgulamanın sonucudur. Şehzade Mehmet Camii'ndeki daha küçük çaplı kubbe ve yarım kubbelerle sınırlı örtü, mekânın daha geleneksel bir yapısal formda kalmasına neden olmuştur. Ancak, Selimiye Camii'nde merkezi kubbenin büyük çapı ve sekizgen taban üzerine oturtulmuş örtü sistemi, mekânın görsel sınırlarını zorlayarak daha özgür bir deneyim alanı ortaya çıkarmıştır. Sinan, her camide örtü sistemini daha ileriye taşıyarak hem estetik hem de işlevsel olarak mekânı dönüştürmüştür.

Sinan'ın camilerde kullandığı örtü sistemlerinin işlevselliği, sadece yapının fiziksel gereksinimlerini karşılamakla kalmamış, aynı zamanda ibadet alanının içsel düzenini ve mekâna hakimiyet duygusunu da güçlendirmiştir. Şehzade Mehmet Camii'ndeki dört yarım kubbe kullanımı, mekânın çeşitli bölümlerine sınırlı ölçüde de olsa derinlik katarken, Selimiye Camii'ndeki tek kubbe ve sekizgen taban tasarımı, mekânın daha geniş ve birleşik bir his uyandırmasını sağlamıştır. Bu tür yapısal yenilikler, Sinan'ın mekâna dair derinlemesine düşünerek hem işlevsel hem de manevi olarak ziyaretçilerin deneyimleyeceği bir bütünsel tasarım ortaya koymasını sağlamıştır.

Sinan'ın erken dönem camilerindeki ayakların (sütunların) ve kubbenin mekân üzerindeki etkileri, onun zamanla daha minimalist, daha özgür ve daha fonksiyonel bir yapı diline geçişine olanak tanımıştır. Selimiye Camii, bu evrimin zirveye ulaştığı bir örnek olup, Sinan'ın hem bir mimar hem de mühendis olarak olağanüstü bir vizyona sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Eserlerinde mekânın algısal genişliğini arttırmak ve yapıyı daha işlevsel hale getirmek için yaptığı yenilikler, sadece dönemin estetik ve mühendislik anlayışını değil, aynı zamanda dinsel deneyimin özünü de yeniden şekillendirmiştir. Sinan'ın tasarım süreçlerinde gösterdiği gelişim hem mimari hem de mühendislik bakımlarından büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Her bir cami, önceki yapının ötesinde bir teknik ve görsel başarıyı temsil eder ve Sinan'ın mimari anlayışındaki derinleşmeyi gözler önüne serer. Bu camilerdeki mekânsal bütünlük ve görsel hakimiyet, Sinan'ın sadece bir mimar olarak değil, aynı zamanda bir mühendis olarak da ne kadar ileri bir seviyeye ulaştığını gösteren örneklerdir.

5. Sonuç

Mimar Sinan'ın ustalığı ve dehası, Osmanlı İmparatorluğu'nun en önemli dönemlerinde inşa ettiği Şehzade Mehmet, Süleymaniye ve Selimiye camilerinde derin bir şekilde kendini göstermektedir. Bu üç muazzam eser, aynı zamanda mimari açıdan muhteşem birer şaheserdir. İncelemeler, bu camilerin mekân bütünlüğünün, estetik yapısının ve işlevselliğinin titiz bir şekilde planlanmış olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yapılar, Mimar Sinan'ın ustalığını ve tasarım vizyonunu sergilerken, aynı zamanda Osmanlı mimarisinin zirvesini temsil etmektedir.

Mimar Sinan'ın 50 yılı bulan sanatsal serüveni sürekli bir arayış içerisinde geçmiştir. Küçük ölçekli yapılarında mekânsal tasarım üzerinde yoğunlaşan bu arayış, anıtsal yapılarında ise mekân özellikleriyle ilişkili olarak örtü sistemi ve strüktürel çözümlenmelerle zirve noktasına ulaşmıştır. Bu nedenle Sinan'ın sanatı ile ilgili bir değerlendirme yapmak gerekirse, onun arayışlarının izlerini anıtsal yapılarında bulmak daha kolay olacaktır.

Sinan'ın anıtsal camileri incelendiğinde, bu eserlere ait teknik veriler bizi, onun arayışlarının ipuçlarına götürür. Örneğin ustalığının zirve eseri Selimiye'den daha önce inşa ettiği ve en büyük yapısı olan Süleymaniye'den sonra daha küçük ölçekli bir eser ortaya koyması, onun arayışlarının mekânsal büyükle ilgili olmadığını gösterir.

Mimar Sinan'ın Şehzade Mehmet, Süleymaniye, Selimiye üçlemesinde gelişimi net bir şekilde kubbede kendini gösterir. Bu üçlemede kubbenin sistematik bir biçimde büyümesi, onun kubbe, yani örtü konusuna özellikle eğildiğini göstermektedir. Çünkü kubbe çapı büyüdükçe kubbenin mekân içindeki izdüşüm alanı, dolayısıyla da ana kubbenin tüm örtü içindeki oranı büyümektedir. Bu durum, Sinan'ın kubbe ile ilgili arayışlarının somut bir göstergesi olarak dikkat çeken önemli bir detaydır.

Kubbeyi taşıyan fil ayaklarının inşası teknik bir zorunluluk olmakla beraber, bu ayaklar mekânın bir bütün halinde görünmesini ve algılanmasını engellemeleri açısından aynı zamanda istenmeyen bir durum da ortaya çıkartırlar. Sinan'ın, Selimiye'de ayak sayısını Şehzade Mehmet ve Süleymaniye'ye göre iki kat artırmış olması, aslında onun taşıyıcı ayak sayısını problem olarak görmediğinin ya da bu

olumsuzluğu başka bir çözüm ile ortadan kaldırılabileceğini bildiği için bu noktaya takılmadığının bir kanıtıdır. Sinan Selimiye’de ayak sayısını çoğaltmakla beraber, sekizgen taşıyıcı sistem kullanarak bunları tabiri caizse “göz önünden uzaklaştırması”, ayak sayısının -doğru bir çözümleme halinde- önemli olmadığı şeklinde yorumladığını gösterir.

Sinan, Selimiye Camii’nin tasarımında kullanmış olduğu sekizgen sistem ve buna bağlı olarak artırdığı ayakları dış duvarlara daha yakın konumlandırmıştır. Bu yaklaşım, Süleymaniye Camii’nde dört ayakla taşınan örtü sistemi ile karşılaştırıldığında, toplam taşıyıcı taban alanının Selimiye’nin büyük kubbesine rağmen daha küçülmesini sağlamıştır. Bu durum, kubbenin yalnızca statik değil, aynı zamanda estetik olarak da öne çıkmasını amaçlayan bir tercihin sonucudur. Statik bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, eğer Selimiye Camii’nde dört adet fil ayağı kullanılmış olsaydı, her bir taşıyıcının taban alanı, Süleymaniye’deki taşıyıcılardan daha büyük olacaktı. Sinan Selimiye’de ayak sayısını artırarak, iç mekânda karşılaşılabilecek hantal taşıyıcı ayaklardan kaynaklanacak olumsuz estetik etkiyi de ortadan kaldırmıştır.

Selimiye Camii, taşıyıcıların mekâna bakış açısıyla ilgili kısıtlamaları açısından önemli bir farklılık göstermektedir. Mekâna girişteki görsel hakimiyet, mekân algısı bakımından önemli bir faktördür. Ancak Sinan, ikinci anıtsal eseri olan Selimiye Camii’nde -belki de bir zorunluluk olarak- bu özelliği ikinci plana atma eğilimindedir. Bu bağlamda, Süleymaniye Camii’nde Şehzade Mehmet Camii’ne göre kısmi bir gerileme olduğu gözlemlenirken, Selimiye Camii’nde girişe yakın taşıyıcıların sağladığı 96°’lik geniş görüş açısı, diğer iki eserle kıyaslandığında net bir şekilde olumlu fark ortaya koymaktadır. Sinan’ın Şehzade-Süleymaniye-Selimiye cami üçlemesinde, mekâna hakimiyeti en belirgin şekilde sağlayan eser, Selimiye Camii olarak öne çıkmaktadır. Her üç yapı da kubbe altında mekâna hakimiyet açısından farklı özellikler sergilemektedir. Şehzade Mehmet Camii, girişte ve kubbe altında benzer oranda mekân görüşü sunma eğilimindedir. Süleymaniye Camii, fil ayaklarından kaynaklı olarak, büyüklükleri ve konumları itibarıyla diğer yapılar arasında en düşük hakimiyet oranını sunan örnek durumdadır. Selimiye Camii ise geniş görüş açısına sahip girişi ve devasa kubbesi sayesinde, girişten itibaren kubbe altına kadar muazzam bir görüş açısı sunmaktadır. Bu durum, Sinan’ın en önemli hedeflerinden birinin bu mekânsal hakimiyeti elde etmek olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Sinan, Selimiye’de sanat yaşamında zirveye ulaştığı büyük kubbesiyle öne çıkarken, bu kubbeyi taşıttığı sekizgen baldaken sistemiyle de mekân bütünlüğünü mükemmel bir biçimde ortaya koymuştur.

Kaynakça

Akmandor N. Koca Sinan’ın plancılığı, eserleri ve mühendisliği. ed. Cengiz Bektaş. Doğu Matbaası, 1968; 49-62.

Aksay M. Mimar Sinan The Architect. İstanbul: Esen Ofset; 2009.

Akyürek ME., Kahraman G. Sinan’ın camilerinde yapı mühendisliği sanatı. Sanat Tarihi Dergisi 2021; 30(1): 255-283.

Alioğlu EF. Şehzade Mehmet Camisi modüler tasarımı. Belleten 2023; 308: 87-111.

- Arslan M. Sinan Paşa Camii. Uluslararası Akademik Birikim Dergisi 2022; 4: 219-235.
- Aslanapa O. Mimar Sinan'ın hayatı ve eserleri. Ankara: Türk Kültürünü Araştırma Enstitüsü Yayınları; 1988.
- Aslanapa O. Türk sanatı. İstanbul: Remzi Kitabevi; 1989.
- Benian E. Mimar Sinan ve Osmanlı Cami mimarisinin gelişimindeki rolü. Bilim ve Teknik 2011; 518: 40-47.
- Cansever T. Mimar Sinan. İstanbul: Albaraka Türk Yayınları; 2005.
- Çamlıbel N. Sinan Mimarlığında yapı strüktürünün analitik incelenmesi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları; 1998.
- Çiçek Akçıl N. Üç Şerefeli Cami ve külliyesi. İslam Ansiklopedisi, 42. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2012: 277-280.
- Denkhalbant Çobanoğlu A. Silivrikapı Hadım İbrahim Paşa Camii'nin plan özellikleri ve klasik dönem Osmanlı Mimarlığı içinde benzer örnekler üzerine bir değerlendirme. Art-Sanat 2019; 11: 101-140.
- Doğan S. Haseki Külliyesi. İslam Ansiklopedisi 16. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 1997: 370-372.
- Eker H. İstanbul'un fethi'nin Osmanlı Cami mimarisi üzerindeki etkileri. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi 2016; 43: 728-732.
- Erzen JN. Mimar Sinan dönemi cami cepheleri. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları; 1981.
- Eyice S. Hüsreviyye Camii. İslam Ansiklopedisi, 19. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 1999: 57-58.
- Eyice S. İbrahim Paşa Külliyesi. İslam Ansiklopedisi, 21. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2000: 341-343.
- Eyice S. Kılıç Ali Paşa Külliyesi. İslam Ansiklopedisi, 25. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2022: 412-414.
- Giray Küçük S. İstanbul ve Tekirdağ Rüstem Paşa Camilerinin konum ve mimari özelliklerine göre karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Art-Sanat 2020; 13: 117-141.
- Göknil UV. Mimar Sinan. İstanbul: Sandoz Kültür Yayınları; 1987.
- Günay R. Mimar Sinan. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları; 2005.
- Gündüz F. Sinan Paşa Külliyesi. İslam Ansiklopedisi 37. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2009: 232-234.
- Güngör H. Mimar Sinan'ın Üç Büyük Camiinde mekân strüktür ilişkisi. ed. Zeki Sönmez. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 1988; 135-168.
- İnan A. Mimar Koca Sinan. Ankara: Türkiye Emlak Kredi Bankası Yayınları; 1968.
- Kuban D. Sinan Üzerine. ed. Cengiz Bektaş. Doğu Matbaası, 1968; 19-20.
- Kuran A. Mimar Sinan'ın Camileri. ed. Sadi Bayram. Türk Dünyası Araştırmaları Vakfı Yayınları, 1988; 175-214.

- Kuran A. Mimar Sinan'ın ilk eserleri. Belleten 1973; 148: 533-544.
- Kuran A. Sinan. ed. Cengiz Bektaş. Doğuş Matbaası, 1968; 21-25.
- Mülayim S. Süleymaniye Camii ve Külliyesi. İslam Ansiklopedisi, 38. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2010: 114-119.
- Mülayim S., Çobanoğlu, AV. Selimiye Camii ve Külliyesi. İslam Ansiklopedisi, 36. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2009: 430-434.
- Orman İ. Mihrimah Sultan Külliyesi. İslam Ansiklopedisi 30. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2020: 40-42.
- Orman İ. Şehzade Külliyesi. İslam Ansiklopedisi 38. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2010: 483-485.
- Özcan A. Mimar Sinan'a Siparişte Bulunanlar. ed. Sadi Bayram. Türk Dünyası Araştırmaları Vakfı Yayınları, 1988; 131-145.
- Refik A. Mimar Sinan. İstanbul: Kanaat Kütüphanesi Yayınları; 1931.
- Tanman MB. Atik Valide Sultan Külliyesi. İslam Ansiklopedisi 4. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 1991: 68-73.
- Tanman MB. Piyâle Paşa Külliyesi. İslam Ansiklopedisi 34. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2007: 297-301.
- Tokay ZH. Rüstem Paşa Külliyesi. İslam Ansiklopedisi 35. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları; 2008: 291-292.

Baklagil Bitkilerinde qRT-PCR İçin Stres Belirteci Olarak Potansiyel Ortak Bir Pirolin-5-Karboksilat Sentetaz (P5CS) Geni

Hande MORGİL^{1*}

¹Department of Biology, Faculty of Science, Istanbul University, Istanbul, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-7565-5795>

*Sorumlu yazar: hande.morgil@istanbul.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.10.2024

Kabul tarihi: 01.01.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Leguminosae

Abiyotik stres

Prolin biyosentezi

Pirolin-5-karboksilat sentetaz
(P5CS)

Gen ekspresyonu

ÖZ

Baklagiller olarak bilinen ve tarımsal, ekolojik öneme sahip bitkileri içeren *Leguminosae* (veya *Fabaceae*) ailesi, dünya çapında geniş bir dağılıma sahip önemli bir tarım bitkisi grubudur. Stres, tarımı yapılan bitkilerin büyümesini ve verimliliğini etkileyen ana çevresel faktörlerden biridir. Bitkiler, stresin etkilerini en aza indirmek ve hücre bileşenlerini korumak amacıyla prolin gibi osmolitler üreterek biyokimyasal düzeyde strese direnç gösterir. Pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS), bitkilerde prolin biyosentez yolunda kilit bir enzim olup, prolin üretiminin başlangıç aşamasında yer alır. Bu çalışmada, prolin miktarındaki artışın belirlenmesinde biyokimyasal yöntemlere alternatif olarak qRT-PCR temelli çalışmalara olanak sağlayacak ortak bir primer belirlenmiştir. Bu amaçla, önemli tarım bitkileri (*Phaseolus vulgaris* L., *Lens culinaris* Medik., *Cicer arietinum* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Pisum sativum* L., *Medicago sativa* L.) üç farklı strese (kuraklık, sıcaklık, tuz) maruz bırakılmıştır. Örneklerin biyokimyasal olarak prolin miktarları ölçülmüş, ardından ortak primer kullanılarak gen ekspresyon seviyeleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, tüm bitki örneklerinde prolin miktarlarının önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Gen ekspresyon analizleri de bu bulgularla korelasyon göstermektedir. Çalışmada, stres koşullarında tarımsal açıdan önemli bazı baklagil bitkilerinin strese maruz kaldığını gösteren ve önemli bir belirteç olan prolin seviyelerini gen ekspresyonu düzeyinde belirlemek için kullanılabilir ortak bir marker tanımlanmıştır. Bulgularımız, prolin biyosentezinde görev alan genlerin ifadesinin araştırılmasının, bitkilerin stres tepkilerini moleküler düzeyde anlamaya yardımcı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, moleküler yöntemlerle yapılan analizlerin daha hızlı ve hassas sonuçlar verdiği, prolin biyosentezinde aktif olan genlerin dinamik değişimlerini daha kısa sürede gözlemlemeye olanak sağladığı belirlenmiştir. Böylece, gen düzeyindeki değişiklikler sayesinde bitkinin strese karşı hazırlık aşamaları veya erken yanıtları daha etkili bir şekilde takip edilebilmektedir.

A Potential Common Pyrroline-5-Carboxylate Synthetase (P5CS) Gene As A Stress Marker For qRT-PCR In Legume Plants

ABSTRACT

Article History:

Received: 17.10.2024

Accepted: 01.01.2025

Published online: 12.03.2025

Leguminosae (or *Fabaceae*), commonly known as legumes, includes plants of agricultural and ecological importance, are important agricultural plant families with a very wide distribution worldwide. Stress is one of the main environmental factors affecting the growth and productivity of cultivated plants. Plants are

Keywords:

Leguminosae
Abiotic stress
Proline biosynthesis
Pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS)
Gene expression

designed to minimize the impact of stress and to develop resistance at the biochemical level by producing osmolytes such as proline to protect their cellular components. Pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) is a key enzyme in the proline biosynthesis pathway in plants and is involved in the initial step of proline production. In this study, a common primer was identified to enable qRT-PCR-based studies as an alternative to biochemical methods for determining the increase in proline content. With this aim, important agricultural plants, *Phaseolus vulgaris* L., *Lens culinaris* Medik., *Cicer arietinum* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Pisum sativum* L., *Medicago sativa* L., were exposed to three different stresses (drought, heat, salt). Proline amounts of the samples were determined biochemically and then gene expression levels were calculated using the common primer. In our results, proline levels were significantly increased in all plant samples. Relative gene expression analysis results also correlated with the biochemical results. In conclusion, this study revealed the existence of a common marker that can be used to determine proline levels at the gene expression level, which is an important marker indicating that some agricultural legume plants are under stress. Our findings show that investigating the expression of genes involved in proline biosynthesis can help to understand the stress responses of plants at the molecular level. In addition, molecular methods provide faster and more precise results compared to biochemical methods. This allows to observe the dynamic changes of genes active in proline biosynthesis in a shorter time and changes at the gene level allow us to observe the plant's readiness or early responses to stress.

To Cite: Morgil H. A Potential Common Pyrroline-5-Carboxylate Synthetase (P5CS) Gene As A Stress Marker For qRT-PCR In Legume Plants. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 739-753.

1. Introduction

Leguminosae (or *Fabaceae*), commonly known as legumes and includes plants of agricultural and ecological importance, is a family of plants with a very wide distribution worldwide. *Leguminosae* is a fairly large plant family, with about 19,325 species and 727 genera, and is widespread on almost every continent (Lewis et al., 2005). The *Leguminosae* family is usually divided into three subfamilies: *Papilionoideae* (*Faboideae*): which includes species such as peas, beans and clover. *Caesalpinioideae*: which consists of trees and shrubs more common in the tropical regions and *Mimosoideae* which includes species such as mimosa, robinia and is characterized by flowers arranged in spikes or panicles (Schrire et al., 2005). Plants in the *Leguminosae* family include trees, shrubs, grasses and vines. This family provides important food sources for both humans and animals. Widely cultivated *Leguminosae* species around the world include beans [*Phaseolus vulgaris* L.], lentils [*Lens culinaris* Medik.], chickpeas [*Cicer arietinum* L.], soybeans [*Glycine max* (L.) Merr.], peas [*Pisum sativum* L.], alfalfa [*Medicago sativa* L.] (Smýkal et al., 2015). These plants hold an important place in human nutrition and animal feed due to their high protein content. One of the most important characteristics of *Leguminosae* is their symbiotic relationship with nitrogen fixing bacteria such as *Rhizobium*, which live in their roots. These bacteria convert atmospheric nitrogen into a form usable by the plant, enriching the soil and serving as natural fertilizers for other plants. Legumes therefore enrich the soil and act as natural fertilizers for other plants. They are also used as green manure in organic farming and increase soil fertility (Giraud et al., 2004). Abiotic stress refers to adverse conditions that negatively impact plant growth, development and productivity (Oshunsanya et al., 2019). These stresses are caused by abiotic or biotic factors. Abiotic stresses include drought, salinity, extreme temperature, nutrient deficiency,

light and chemical stresses. Since the *Leguminosae* family includes agriculturally and ecologically important plants, the effects of abiotic stresses on these plants are of great importance for both yield and biodiversity. In the face of abiotic stresses, the rate of photosynthesis decreases, root development is limited, growth and development slow down, protein synthesis as well as metabolic balances may be disrupted in all plants including *Leguminosae* (Abdelrahman et al., 2018). Abiotic stresses pose serious threats to the agricultural production of legume crops and for this reason, breeding studies and genetic modification are trying to develop varieties that are more resistant to stresses. The amino acid proline is a small but critical molecule that plays an important role in plants against abiotic stress conditions (Hosseini-fard et al., 2022). Under stress, plants respond by increasing proline production. In plant cells, proline acts as an osmoprotectant, maintaining intracellular fluid balance and preventing cellular water loss in stressed plants (Liang et al., 2013). It also protects cell membranes and proteins from harmful effects such as denaturation. Under stress conditions, proteins may degrade and cell membranes can be damaged, and proline stabilizes these structures and reduces the effects of stress (Kumar et al., 2012). Abiotic stresses create oxidative stress in plants, which leads to the accumulation of harmful reactive oxygen species (ROS) in cells (Banerjee et al., 2017). Proline scavenges free radicals, limiting cellular damage and combating oxidative stress. Pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) is a key enzyme in the proline biosynthesis pathway in plants and involved in the initial step of proline production (Turchetto et al., 2009). P5CS converts the amino acid glutamate into the intermediate compound pyrroline-5-carboxylate (P5C), which is required for proline synthesis, and P5C is then converted to proline. P5CS, the checkpoint of proline synthesis, ensures that proline is produced rapidly and in sufficient quantities (Turchetto et al., 2009). Previous studies have reported that P5CS expression increases under abiotic stress (De Ronde et al., 2000; Zhang et al., 2014; Wang et al., 2015; Dai et al., 2018; Wei et al., 2022; Kijowska et al., 2024) and this helps to increase proline production resulted the plant to gain resistance to stress. Plants synthesize more proline by regulating P5CS gene expression depending on the severity of stress (Feng et al., 2016). Proline is one of the most effective defense mechanisms of plants against abiotic stresses and the enzyme Pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) is at the center of this process. Increased activity of P5CS under stress conditions accelerates proline production in plants, preventing water loss, scavenging free radicals and protecting cellular structures (Sripinyowanich et al., 2013). Therefore, P5CS is of great importance in plant stress tolerance and an important enzyme targeted in agricultural breeding studies (Kesari et al., 2012). In previous studies, the increase in P5CS gene activity has been associated with higher proline levels in transgenic tobacco and rice (Ma et al., 2022). Similarly, another study showed a significant positive correlation between P5CS expression, P5CS activity, and proline accumulation, suggesting this physiological trait as a promising index for developing osmotic stress-tolerant genotypes in rice (Sabbioni et al., 2021). However, the existing stress studies targeting the P5CS gene in the literature predominantly focus on gene expression research in a single plant species. In this context, the present study aims to fill this gap

by proposing the presence of a marker that can serve for common use in commercially important legume plants.

Based on all the information, in this study, a common P5CS gene expression marker based on qRT-PCR was identified, which can be used as an alternative to biochemical methods to understand that important agricultural legume plants (*Phaseolus vulgaris* L., *Lens culinaris* Medik., *Cicer arietinum* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Pisum sativum* L., *Medicago sativa* L.) are under different abiotic stresses (drought, heat, salt). Conducting gene expression studies to determine the amount of proline in plants can be important and advantageous for understanding proline biosynthesis and metabolism at the molecular level. In particular, analyzing the expression of genes that play a critical role in proline biosynthesis (e.g. pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) gene) will help to understand plant response to abiotic stress conditions. Thus, it is believed that through genetic modifications, the preparation phases or early responses of the plant to stress can be monitored more effectively.

2. Material and Methods

2.1. Plant Materials

The seeds used as experimental material in this study were obtained from The Southeastern Anatolia Agricultural Research Institute, Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute and Trakya Agricultural Research Institute. The following seed varieties were used Özmen for *Phaseolus vulgaris* L., Fırat for *Lens culinaris* Medik., İnci for *Cicer arietinum* L., İlksoy for *Glycine max* (L.) Merr., Kurtbey for *Pisum sativum* L., Nimet for *Medicago sativa* L. were used.

2.2. Growth Conditions and Application of Stress

After surface sterilization, the seeds were kept in distilled water overnight to swell and were ready for sowing in pots with perlite. The next day, the seeds were sown in pots containing perlite and grown in climate chamber under long day conditions (25°C, humidity 10%, light intensity 16.000 lux). For 14 days, all experimental groups were irrigated with ½ Hoagland's nutrient solution. At the end of the 14th day, the control group was irrigated with ½ Hoagland's nutrient solution and the experimental groups were irrigated with ½ Hoagland's nutrient solution containing 15% PEG 6000 for drought and 100 mM NaCl for salinity (Farooq et al., 2017; Morgil et al., 2019). For heat stress, the plants were placed in climate chamber at 50°C with normal irrigation (Liu et al., 2019). The plants were exposed to stress for three days and then harvested.

2.3. Determination of Proline Amount

Proline content was determined according to Morgil et al., (2019). A standard curve was constructed to determine the proline concentration in the range 5-500 µm. Experiments were performed in three technical, three biological (n=6) replicates. The results of the study groups were expressed as mean ± standard deviation (mean ± SD). Student's t-test and one-way analysis of variance (ANOVA) were

applied for statistical analysis. Post-hoc Bonferroni test was applied to the groups with significant ANOVA results and a probability value of $p < 0.05$ was considered statistically significant.

2.4. Determination of Common P5CS Gene Primer

To evaluate the response of *Phaseolus vulgaris* L., *Lens culinaris* Medik., *Cicer arietinum* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Pisum sativum* L., *Medicago sativa* L. under different abiotic stresses (drought, heat, and salt), a common P5CS gene expression marker based on qRT-PCR was identified as an alternative to biochemical methods. The aim was to identify conserved regions within the P5CS gene sequences between these species and design a common primer. First, the complete sequence of the P5CS gene from each plant species was retrieved from the NCBI GenBank database (*Phaseolus vulgaris* L. (Genbank ID EU407263.1), *Lens culinaris* Medik. (Genbank ID: GT-622346.1), *Cicer arietinum* L. (Genbank ID: KC464462.1), *Glycine max* (L.) Merr. (Genbank ID: FM999730.1) *Pisum sativum* L. (Genbank ID: CAB63486.1), *Medicago sativa* L. (Genbank ID: GU180149.1). To identify conserved regions, P5CS gene sequences of plant species were aligned using the multiple sequence alignment program Clustal Omega (<http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalo/>) (Additional Figure 1). After conserved regions were identified, primer design was performed using Primer3Plus webtool, taking into account primer length, GC content, melting temperature, self-complementarity and amplification product size. Approximately ten primers were ordered according to the specifications and then primer checks were performed by BLAST analysis to check for matches with other genes. The selected primers were then tested by qRT-PCR and the results were normalized using the appropriate reference genes for each plant species and the common primer for qRT-PCR was determined for all samples (Table 1).

Table 1. Primers used for qRT-PCR

Gene name	Forward primer (5'-3')	Reverse primer (5'-3')	Product length
P5CS*	GTGGAATGGGCTTCTCTTGA	ACTCCTACTGGACCCCGAG	763 bp
Ubiquitin_ Phaseolus vulgaris	AGAAAAGCCCCCAAGTGTTTC	CTGCCATCTCCTTCTTCAGC	161 bp
Ubiquitin_Glycine max	TCCCCTCACACC CTTCCCTC	CCATCCCAAGGGG TGTCAT	155 bp
Ubiquitin_Cicer arietinum	TCACCCTCGAGGTGGAGTCT	TGTCTTGGATCTTTGCTTTGACA	166 bp
GAPDH_Lens culinaris	TGGCAAAGTGCTTCCTGCTT	CAACAACGGAGACATCCACAGT	180 bp
GAPDH_Pisum sativum	GTGGTCTCCACTGACTTTATTGGT	TTCCTGCCTTGGCATCAAA	150 bp
GAPDH_Medicago sativa	CTGGAGAGGTGGAAGAGCTG	GGTTGGGACACGGAATGAC	160 bp

*The common primer identified as normalized among ten primers selected from conserved regions and found to work efficiently for qRT-PCR.

2.5. RNA Isolation and Reverse Transcription

RNA isolation was performed by harvesting leaf tissues from plant subjected to stress for three days. RNA isolations were performed using the RNeasy Mini Kit (Qiagen, Germany, Catalog No: 74106) according to the manufacturer instructions. No degradation of RNA samples and genomic DNA quality control was ensured by running on a 1% agarose gel to avoid contamination. NanoDrop™ 2000/2000c Spectrophotometer (Thermo Scientific™, USA) was used to measure the quality and the quantity of the isolated total RNAs. Experiments were performed in three technical and biological (n=6) replicates. The isolated RNA samples were converted into cDNA using Revert Aid First Strand cDNA synthesis kit (Fermentas, Catalog No: K1622) according to the manufacturer instructions (Schmidt, 2004).

2.6. qRT-PCR Analysis

To examine the correlation between biochemically derived proline levels and gene expression in stressed plants, we performed qRT-PCR with a common primer for the pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) gene (Table 1). Amplification programs were performed using SYBR Green according to a protocol that included 35 cycles of 95°C for 4 min, 95°C for 8 s, 60°C for 10 s and 72°C for 20 s, and a thermal denaturing step to generate melting curves (95°C for 10 s, 70°C for 5 s). The Ubiquitin gene was used as an internal reference for *Phaseolus vulgaris* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Cicer arietinum* L. and GAPDH gene for *Lens culinaris* Medik., *Pisum sativum* L. and *Medicago sativa* L.. This was accomplished by using the NormFinder tool and setting a MIQE guidelines value (M value) of 0.6, taking into account an average expression stability (Kakar et al., 2008). All reactions were repeated in biological and technical triplicates. Gene expression results were given as relative gene expression based on the transcription level of the internal reference gene in each sample (Seferoglu et al., 2013). The results of the amplified PCR product were checked on a 1% agarose gel.

2.7. Statistical analysis

The results were statistically analyzed to determine whether there was a statistical significance between the biochemical proline content results and gene expression analysis. The Shapiro-Wilk test was applied to the data set to examine whether the data fit a normal distribution. Afterwards, Pearson's correlation test was performed since both the proline and gene expression data fit the normal distribution. This test determines the linear relationship between two variables.

3. Results and Discussion

3.1. Accumulation of Proline

In this study, a common P5CS gene expression marker based on qRT-PCR was identified, which can be used as an alternative to biochemical methods to understand that important agricultural legume plants (*Phaseolus vulgaris* L., *Lens culinaris* Medik., *Cicer arietinum* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Pisum sativum* L., *Medicago sativa* L.) are under different abiotic stresses (drought, heat, salt). For analyses,

plants grown in pots containing perlite for 14 days were subjected to different stresses for 3 days after 14 days. At the end of the 3-day stress period samples were harvested and proline content was measured (Figure 1). In general, our results show that proline levels significantly increased in plants exposed to stress conditions compared to the control group. This implies that proline is accumulated as a plant response to stress conditions and helps plants to maintain osmotic balance (Alagoz et al., 2023). Under control conditions, proline levels in the control group were quite low for each plant species. The lowest proline levels were determined in *Glycine max* (L.) Merr. control (0.24 $\mu\text{mol}/\text{mg}$) and *Lens culinaris* Medik. control (0.255 $\mu\text{mol}/\text{mg}$). Proline levels were slightly higher in as the control groups of *Pisum sativum* L. and *Cicer arietinum* L., but still low compared to stressed conditions. In all species, proline levels increased significantly in plants exposed to drought stress. Especially high proline accumulation was observed in *Pisum sativum* L. (1.4 $\mu\text{mol}/\text{mg}$) and *Phaseolus vulgaris* L. (1.37 $\mu\text{mol}/\text{mg}$). These species respond to drought stress by accumulating proline and that this is similar between species (Kijowska et al., 2023). Similarly, species such as *Glycine max* (L.) Merr. and *Cicer arietinum* L. also responded to drought stress with proline accumulation. In salt stress, proline levels increased in all plants compared to the control group. However, this increase was higher in some plants than in others. *Pisum sativum* L. (1.44 $\mu\text{mol}/\text{mg}$) and *Phaseolus vulgaris* L. (1.09 $\mu\text{mol}/\text{mg}$) showed a higher increase in proline accumulation than other plants.

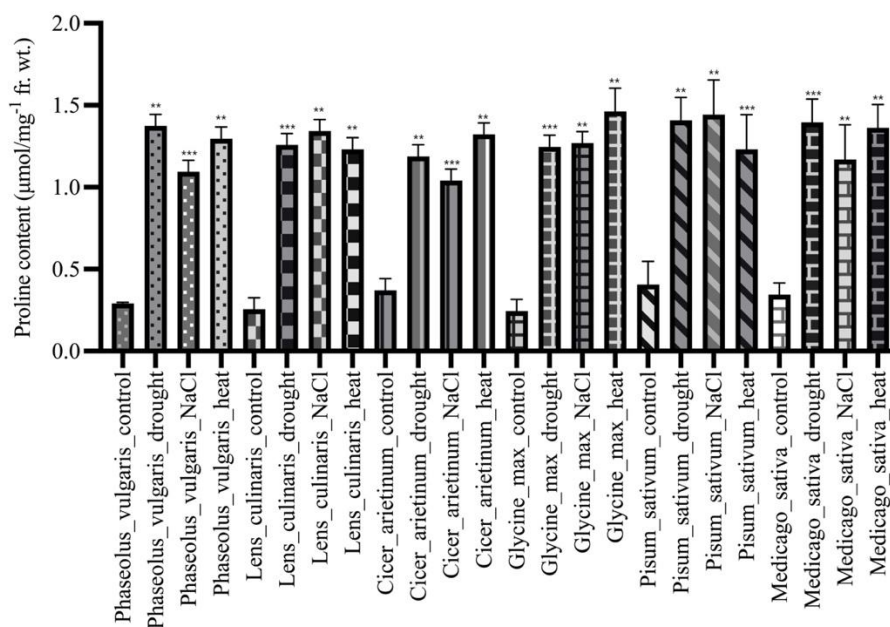


Figure 1. Proline content of all plant samples. Each plant was represented by a different pattern. Assays were done after 3 days of stress treatment. Stress treatments were conducted using 15% PEG 6000 for drought, 100 mM NaCl for salinity, and placing plants under normal irrigation in a 50°C climate chamber for heat stress. Means, standard errors of three biological and three technical replicates. The data were analyzed using a one-way ANOVA analysis of variance (Post-hoc Bonferroni Test). Asterisks indicate significant differences at ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ versus treated control samples at the relevant time point.

The accumulation of proline under salt stress acts as a mechanism of plant resistance to salt stress (Koc et al., 2024). Heat stress also increased proline levels compared to the control group, although the extent of this increase varied among species. High proline accumulation was observed in species such as *Phaseolus vulgaris* L. (1.29 $\mu\text{mol/mg}$) and *Glycine max* (L.) Merr. (1.46 $\mu\text{mol/mg}$). *Medicago sativa* L. (1.36 $\mu\text{mol/mg}$) and *Pisum sativum* L. (1.23 $\mu\text{mol/mg}$) also responded to heat stress by proline accumulation. All plants accumulate proline as an adaptation mechanism against stress conditions (Zulfiqar et al., 2023). In particular, drought and salt stress were found to cause more proline accumulation in plants. Some species (e.g. *Pisum sativum* L. and *Phaseolus vulgaris* L.) accumulated higher levels of proline, while others showed lower responses. Proline accumulation to heat stress was less pronounced than to other stressors. These results suggest that plant species develop different response mechanisms to different stress conditions and that these mechanisms are associated with proline accumulation (Mehta et al., 2023). The standard deviations between replicate samples compared to the control were approximately 0.07. These results show that proline amounts vary with stress conditions and reliable measurements were obtained for most of these changes. The effect of stress on plants has been consistently measured in different plant species and conditions.

3.2. qRT-PCR Analysis

To see the correlation between biochemically derived proline levels in stressed plants, we performed qRT-PCR with a common primer for the pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) gene. RNA isolations were performed by harvesting from the leaf parts at the end of the third day from plants subjected to stress. The quantity and quality of RNA samples were assessed using a Qubit® 2.0 spectrophotometer (Invitrogen, USA). In the results, the average amount of total RNAs was determined as 682.82 ng/ μl and experiments were continued with RNAs with a spectrophotometric absorbance of 2.0 at 260/280 nm. The P5CS gene expression results show gene expression levels measured under control and stress conditions in various plant species (Figure 2).

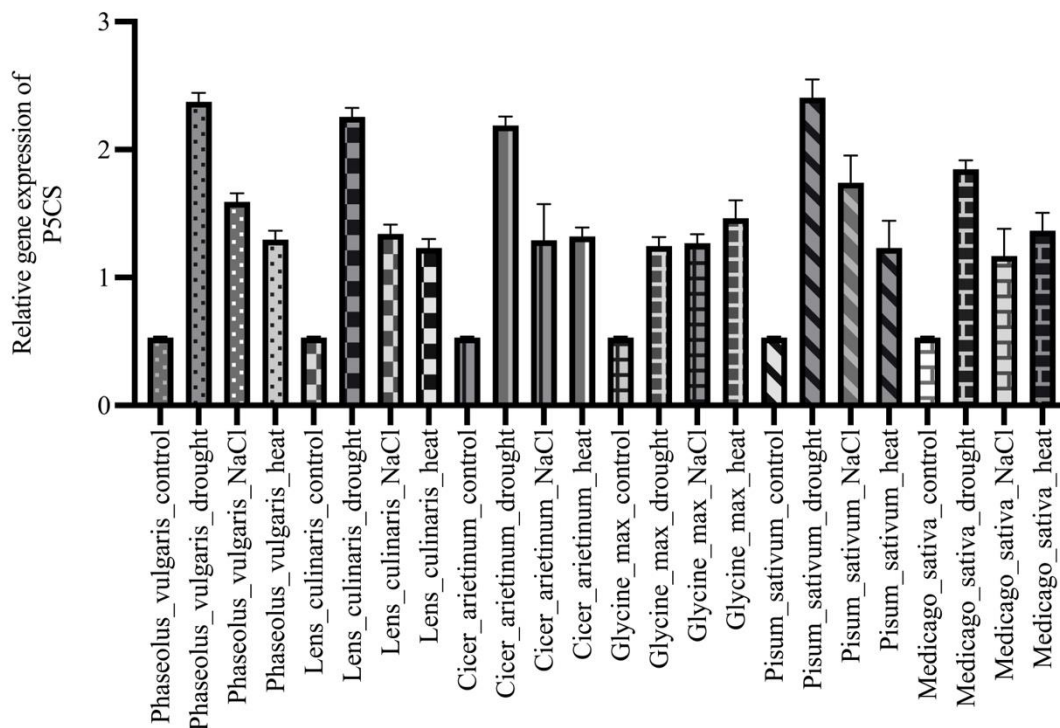


Figure 2. qRT-PCR relative gene expression results of all samples with common P5CS primer after 3 days stress application. Each plant was represented by a different pattern. Means, standard errors of three biological and three technical replicates. The results were first normalized to each plant-specific housekeeping gene and then the relative expression of the genes under various treatments was determined.

The P5CS gene plays an important role in proline synthesis and is therefore being studied in relation to proline accumulation. The level of P5CS relative gene expression in all plant species under control conditions was determined to be approximately 0.525. This suggests that plants maintain a basal level of gene expression against their healthy, stressed state (Georgieva et al., 2023). Under drought stress, a significant increase in P5CS gene expression was observed in all species. For *Phaseolus vulgaris*, the relative gene expression level reached its highest at 2.423920147. *Pisum sativum* L. (2.306768253) and *Lens culinaris* Medik. (2.206768253) also show high increases. These species significantly increased P5CS gene expression to increase proline synthesis under drought conditions. A similar increase is observed in other species, suggesting that plants increase proline production through the P5CS gene in response to drought stress. Under salt stress, P5CS gene expression was also increased compared to the control group, but remained lower compared to the drought condition. While a significant increase was observed in species such as *Pisum sativum* L. (1.892055467) and *Phaseolus vulgaris* L. (1.543983093), this increase was more moderate in other species. This implies that plants also respond to salt stress through P5CS, but less efficiently than in drought (Jamshidi et al., 2023). In heat stress, P5CS gene expression was generally increased compared to the control group, but still remained at lower levels compared to drought condition. *Glycine max* (L.) Merr. (1.56318) and *Pisum sativum* L. (1.381119173) show the highest levels. This indicates that plants increase P5CS gene expression in response to heat

stress but the effect of stress on species is variable (Duvnjak et al., 2024). P5CS gene expression shows a marked increase in plants subjected to drought stress. This indicates that proline synthesis is increased and is an important part of the survival mechanisms of plants under drought conditions. Although an increase was also observed in salt and heat stress, this increase was less pronounced than in drought condition. Overall, it appears that plants increase proline production through the P5CS gene in response to stress conditions and that this mechanism varies among plant species (Duvnjak et al., 2024). Our results showed similar results between relative gene expression levels and biochemically measured proline amounts.

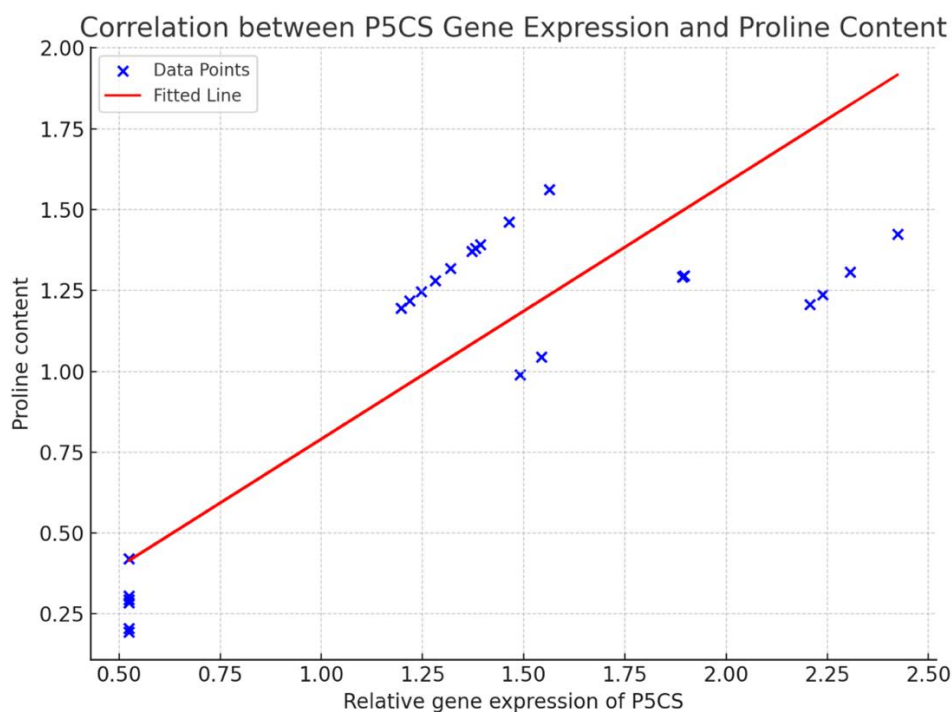


Figure 3. Correlation plot between proline content and P5CS gene expression. The blue dots represent the experimental data, while the red line is the curve showing the strong positive correlation between the two variables ($R^2 = 0.791$).

Biochemical proline content results were statistically analyzed to evaluate the relationships between biochemical proline levels and P5CS gene expression analysis (Javed et al., 2024). The data appear under the headings “Relative gene expression of P5CS” and “Proline content” under control and stress conditions (drought, heat, salt) in different plant species (Figure 3). Statistical analysis was performed between these two variables to calculate the correlation. The results of the Shapiro-Wilk test showed a p-value of 0.031 for relative gene expression of P5CS, indicating that the data showed a significant deviation from a normal distribution ($p < 0.05$). The p-value for proline content was also 0.001, indicating that the data also fit a normal distribution. Pearson correlation was then calculated for these two variables. Pearson correlation coefficient between proline content and P5CS relative gene expression was 0.791. Our results show a positive and strong linear relationship between the two

variables. Furthermore, this relationship is statistically significant as the p-value is 4.2×10^{-6} (0.0000042). This is well below the threshold value generally accepted as $p < 0.05$, indicating that the findings are reliable.

4. Conclusion

Stress is an environmental condition that adversely affects plant growth, development and productivity. To cope with stress, plants undergo significant biochemical and molecular adjustments. The amino acid proline is a small but critical molecule that plays an important role in protecting plants under abiotic stress conditions. In plant cells, proline acts as an osmoprotectant and maintains intracellular water balance, preventing cellular water loss in stressed plants. Pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) is a key enzyme in the proline biosynthesis pathway in plants and is involved in the initial step of proline production. In this study, we successfully identified a common qRT-PCR-based P5CS gene expression marker that can be used as an alternative to biochemical methods in important agricultural legume crops (*Phaseolus vulgaris* L., *Lens culinaris* Medik., *Cicer arietinum* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Pisum sativum* L., *Medicago sativa* L.) under different abiotic stresses. However, the experimental reproducibility of the selected common primer is plant-specific and open to further testing. Due to genetic diversity among different legume species, the P5CS gene may have different expression levels in different species. The specificity of the primer may only work with high accuracy in certain species and under specific conditions. The efficiency of the primer can vary depending on the genetic makeup of the legume species used and the stress conditions applied. Biological diversity in different plant samples can affect the expression of the P5CS gene, which can make the accuracy and reproducibility of the results more difficult. The applicability of the common primer depends on the proper selection of internal control genes and the use of appropriate reference standards. The expression of these control genes can vary across different plants, so special optimizations may be required for each species and condition.

Conducting gene expression studies to determine the amount of proline in plants may be important and advantageous for understanding proline biosynthesis and metabolism at the molecular level. Identifying and regulating genes involved in proline biosynthesis allows the development of plant species resistant to environmental stresses such as drought, salinity and heat. This is particularly important to mitigate the effects of climate change. In addition, developing plants that are more resilient to environmental stress conditions helps to avoid declines in agricultural yields. Plant species that increase proline biosynthesis through genetic manipulation or selective breeding can achieve high yields even under harsh environmental conditions. Using genes associated with proline biosynthesis as molecular markers facilitates early selection of individuals with high stress tolerance. This speeds up breeding processes, saving costs and time. Genetic modifications that increase proline production can be used in agricultural biotechnology crops, contributing to the development of sustainable plant varieties that are more resistant to stress conditions. It provides a great advantage for the continuation of agricultural

production, especially in saline soils or low rainfall areas. The efficient utilization of agricultural lands diminished by climate change and environmental stresses can be made possible through the applied outcomes of proline research. This would support food security on a global scale.

Conflict of Interest Statement

The author of the article declare that there is no conflict of interest.

Contribution Rate Statement Summary of Researchers

The author declare that she contributed 100% to the article.

References

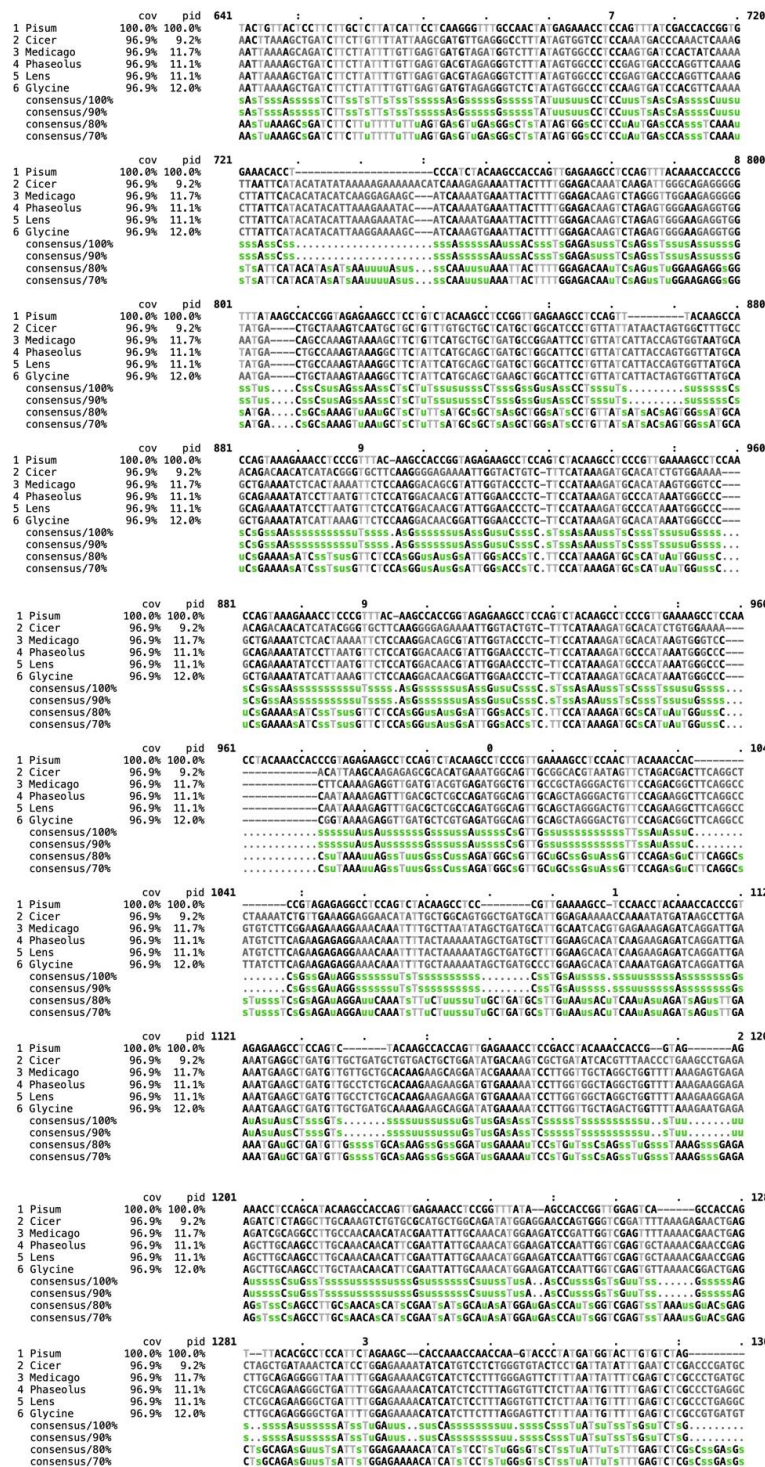
- Abdelrahman M., Jogaiah S., Burritt DJ., Tran LSP. Legume genetic resources and transcriptome dynamics under abiotic stress conditions. *Plant, Cell & Environment* 2018; 41(9): 1972-1983.
- Alagoz SM., Lajayer BA., Ghorbanpour M. Proline and soluble carbohydrates biosynthesis and their roles in plants under abiotic stresses. In *Plant stress mitigators*, Academic Press 2023; 169-185.
- Banerjee A., Roychoudhury A. Abiotic stress, generation of reactive oxygen species, and their consequences: an overview. *Reactive Oxygen Species in Plants: Boon or Bane-Revisiting the Role of ROS* 2017; 23-50.
- Dai W., Wang M., Gong X., Liu JH. The transcription factor Fc WRKY 40 of *Fortunella crassifolia* functions positively in salt tolerance through modulation of ion homeostasis and proline biosynthesis by directly regulating SOS 2 and P5CS 1 homologs. *New Phytologist* 2018; 219(3): 972-989.
- De Ronde JA., Spreeth MH., Cress WA. Effect of antisense L- Δ 1-pyrroline-5-carboxylate reductase transgenic soybean plants subjected to osmotic and drought stress. *Plant Growth Regulation* 2000; 32, 13-26.
- Duvnjak J., Sarcevic H., Vukovic R., Spanic V. Effects of drought at anthesis on flag leaf physiology and gene expression in diverse wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Agronomy* 2024; 14(7): 1522.
- Farooq M., Gogoi N., Hussain M., Barthakur S., Paul S., Bharadwaj N., Siddique KH. Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry* 2017; 118, 199-217.
- Feng XJ., Li JR., Qi SL., Lin QF., Jin JB., Hua XJ. Light affects salt stress-induced transcriptional memory of P5CS1 in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2017; 113(51): E8335-E8343.
- Georgieva M., Vassileva V. Stress management in plants: examining provisional and unique dose-dependent responses. *International Journal of Molecular Sciences* 2023; 24(6): 5105.

- Giraud E., Fleischman D. Nitrogen-fixing symbiosis between photosynthetic bacteria and legumes. *Photosynthesis Research* 2004; 82, 115-130.
- Hosseini-fard M., Stefaniak S., Ghorbani Javid M., Soltani E., Wojtyła Ł., Garnczarska M. Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences* 2022; 23(9): 5186.
- Jamshidi Goharrizi K., Baghizadeh A., Karami S., Nazari M., Afroushteh M. Expression of the W36, P5CS, P5CR, MAPK3, and MAPK6 genes and proline content in bread wheat genotypes under drought stress. *Cereal Research Communications* 2023; 51(3): 545-556.
- Javed SA., Jaffar MT., Shahzad SM., Ashraf M., Piracha MA., Mukhtar A., Zhang J. Optimization of nitrogen regulates the ionic homeostasis, potassium efficiency, and proline content to improve the growth, yield, and quality of maize under salinity stress. *Environmental and Experimental Botany*, 2024; 226, 105836.
- Kakar K., Wandrey M., Czechowski T., Gaertner T., Scheible WR., Stitt M., Udvardi MK. A community resource for high-throughput quantitative RT-PCR analysis of transcription factor gene expression in *Medicago truncatula*. *Plant Methods* 2008; 4, 1-12.
- Kesari R., Lasky JR., Villamor JG., Des Marais DL., Chen YJC., Liu TW., Verslues PE. Intron-mediated alternative splicing of *Arabidopsis* P5CS1 and its association with natural variation in proline and climate adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2012;109(23): 9197-9202
- Kijowska-Oberc J., Wawrzyniak MK., Ciszewska L., Ratajczak E. Evaluation of P5CS and ProDH activity in *Paulownia tomentosa* (Steud.) as an indicator of oxidative changes induced by drought stress. *PeerJ* 2024; 12, e16697.
- Kijowska-Oberc J., Dylewski Ł., Ratajczak E. Proline concentrations in seedlings of woody plants change with drought stress duration and are mediated by seed characteristics: A meta-analysis. *Scientific Reports* 2023; 13(1): 15157.
- Koc YE., Aycan M., Mitsui T. Exogenous proline suppresses endogenous proline and proline-production genes but improves the salinity tolerance capacity of salt-sensitive rice by stimulating antioxidant mechanisms and photosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry* 2024; 214, 108914.
- Kumar RR., Goswami S., Sharma SK., Singh K., Gadpayle KA., Kumar N., Rai RD. Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H₂O₂ and transcript of heat shock protein. *Int J Plant Physiol Biochem* 2012; 4(4): 83-91.
- Lewis G., Schrire B., Mackinder B. Lock M. *Legumes of the world*. Richmond, U.K.: Royal Botanic Gardens, Kew 2005.
- Liang X., Zhang L., Natarajan SK., Becker DF. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants & Redox Signaling* 2013; 19(9): 998-1011.
- Liu Y., Li J., Zhu Y., Jones A., Rose R J., Song Y. Heat stress in legume seed setting: Effects, causes, and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 2019; 10, 938.

- Ma C., Wang M., Zhao M., Yu M., Zheng X., Tian Y., Wang C. The $\Delta 1$ -pyrroline-5-carboxylate synthetase family performs diverse physiological functions in stress responses in pear (*Pyrus betulifolia*). *Frontiers in Plant Science*, 2022; 13, 1066765.
- Mehta D., Vyas S. Comparative bio-accumulation of osmoprotectants in saline stress tolerating plants: A review. *Plant Stress* 2023; 9, 100177.
- Morgil H., Tardu M., Cevahir G., Kavakli İ. Comparative RNA-seq analysis of the drought-sensitive lentil (*Lens culinaris*) root and leaf under short-and long-term water deficits. *Functional & Integrative Genomics* 2019;715-727.
- Oshunsanyan SO., Nwosu NJ., Li Y. Abiotic stress in agricultural crops under climatic conditions. *Sustainable Agriculture, Forest and Environmental Management* 2019; 71-100.
- Sabbioni G., Funck D., Forlani G. Enzymology and regulation of $\delta 1$ -pyrroline-5-carboxylate synthetase 2 from rice. *Frontiers in Plant Science*, 2021; 12, 672702.
- Schmidt A., Su YH., Kunze R., Warner S., Hewitt M., Slocum RD., Desimone M. UPS1 and UPS2 from *Arabidopsis* mediate high affinity transport of uracil and 5-fluorouracil. *Journal of Biological Chemistry* 2004; 279(43): 44817-44824.
- Schrire BD., Lavin MATT., Lewis GP. Global distribution patterns of the Leguminosae: Insights from Recent Phylogenies 2005.
- Seferoglu AB., Baris I., Morgil H., Tulum I., Ozdas S., Cevahir G., Kavakli IH. Transcriptional regulation of the ADP-glucose pyrophosphorylase isoforms in the leaf and the stem under long and short photoperiod in lentil. *Plant Science* 2013; 205, 29-37.
- Smýkal P., Coyne CJ., Ambrose MJ., Maxted N., Schaefer H., Blair MW., Varshney RK. Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences* 2015; 34(1-3): 43-104.
- Sripinyowanich S., Klomsakul P., Boonburapong B., Bangyeekhun T., Asami T., Gu H., Chadchawan S. Exogenous ABA induces salt tolerance in indica rice (*Oryza sativa* L.): the role of OsP5CS1 and OsP5CR gene expression during salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 2013; 86, 94-105.
- Turchetto-Zolet AC., Margis-Pinheiro M., Margis R. The evolution of pyrroline-5-carboxylate synthase in plants: a key enzyme in proline synthesis. *Molecular Genetics and Genomics* 2009; 281, 87-97.
- Wang H., Tang X., Wang H., Shao HB. Proline accumulation and metabolism-related genes expression profiles in *Kosteletzkya virginica* seedlings under salt stress. *Frontiers in Plant Science* 2015; 6, 792.
- Wei TL., Wang ZX., He YF., Xue S., Zhang SQ., Pei MS., Guo DL. Proline synthesis and catabolism-related genes synergistically regulate proline accumulation in response to abiotic stresses in grapevines. *Scientia Horticulturae* 2022; 305, 111373.

Zhang M., Huang H., Dai S. Isolation and expression analysis of proline metabolism-related genes in *Chrysanthemum lavandulifolium*. Gene 2014; 537(2): 203-213.

Zulfiqar F., Ashraf M. Proline alleviates abiotic stress induced oxidative stress in plants. Journal of Plant Growth Regulation 2023; 42(8): 4629-4651.



Additional Figure 1. Conserved regions of P5CS gene sequences of plant species aligned using the multiple sequence alignment program.

Afet Sonrası Acil Yerleşim Bölgelerinde Vidalı Kazıkların Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Talha SARICI¹, Mustafa ÖZCAN^{2*}

^{1,2}Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

¹<https://orcid.org/0000-0001-8488-5851>

²<https://orcid.org/0000-0001-5745-8694>

*Sorumlu yazar: mustafa.ozcan@inonu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.09.2024

Kabul tarihi: 07.01.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Vidalı kazık

Afet sonrası yerleşim

Model yükleme deneyi

Sonlu elemanlar analizi

ÖZ

Bu çalışma kapsamında vidalı kazıkların afet sonrası acil yerleşim bölgelerinde kullanılabilirliğini araştırmak üzere deneysel çalışmalar, sayısal ve parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, farklı helezon sayısına sahip vidalı kazıklar ve geleneksel kazığın kohezyonsuz zeminde basınç kuvveti altındaki davranışı incelenmiştir. Sayısal ve parametrik analizlerde literatürde yaygın kullanılan vidalı kazık modellerinden farklı olarak parçalı helezon modellemesi geliştirilmiş ve deneysel çalışmalar ile önemli uyum elde edilmiştir. Bununla beraber parametrik çalışmalarda farklı helezon çapları, gömülme derinlikleri ve helezon sayıları gibi parametreler araştırılarak bu değişkenlerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen taşıma kapasiteleri, iyileştirme oranları ve helezon sayısı verimliliği gibi bulgular değerlendirildiğinde afet sonrası yerleşimde sıklıkla tercih edilen konteyner yapılan vidalı kazıklar kullanılarak güvenle taşınabildiği görülmüştür. Bununla beraber vidalı kazıkların farklı üretim opsiyonlarının bulunması sayesinde, prefabrik elemanlar ile daha kolay bağlantı sağlayabilmesi, vidalı kazıkların sahada farklı arazi koşullarında dahi kolaylıkla uygulanabilmesi, depolama kolaylığı gibi avantajları sayesinde acil durum eylem planlarında kendine yer bulacağı düşünülmektedir.

Investigation of the Applicability of Screw Piles in Post-Disaster Emergency Settlement Areas

Research Article

Article History:

Received: 25.09.2024

Accepted: 07.01.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Screw pile

Post-disaster settlement

Model loading test

Finite element analysis

ABSTRACT

Within the scope of this study, experimental studies, numerical and parametric analyses were carried out to investigate the usability of screw piles in post-disaster emergency settlement areas. The behavior of screw piles with different number of helixes and traditional piles under compressive force in cohesionless soil were investigated. In the numerical and parametric analyses, unlike the screw pile models commonly used in the literature, a segmented helix modeling was developed and significant agreement with experimental studies was obtained. In addition, in parametric studies, parameters such as different helix diameters, embedment depths and number of helixes were investigated and the effect of these variables on the bearing capacity was investigated. When the findings obtained within the scope of the study such as bearing capacities, improvement ratios and helix number efficiency are evaluated, it is seen that the containers, which are frequently preferred in post-disaster settlement, can be safely carried by using screw piles. In addition, due to the availability of different production options of screw piles, it is thought that it will find a place in emergency action plans thanks to its advantages such

as easier connection with prefabricated elements, easy application of screw piles in the field even in different terrain conditions, and ease of storage.

To Cite: Sarıcı T., Özcan M. Afet Sonrası Acil Yerleşim Bölgelerinde Vidalı Kazıkların Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 754-772.

1. Giriş

Depremler, ilk etapta yanlış inşa edilmiş yer altı ve yer üstü yapılarını tehdit ediyor gibi görünse de afet anı birkaç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar afet öncesi, afet anı ve afet sonrası olarak tanımlanabilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar ışığında elverişsiz zeminlerin rehabilite edilmesi, taşınması ya da derin temel çözümleri vb. ile pek çok sorun aşılarak afet öncesi zamanda inşaat mühendisliği yapıları daha güvenli hale getirilebilmektedir (Demir ve Ok, 2015a; b; Demir ve Sarıcı, 2017; Ateş ve Şadoğlu, 2021a; b; Altaf ve ark., 2024; Demir ve ark., 2024). Son yıllarda elde edilen teknolojik gelişmeler ve yapılan çalışmalar sayesinde zemin özelliklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerin birçok probleme aynı anda cevap verebildiği de görülmüştür (Sarıcı ve Özcan, 2024a; 2024b). Bu çözümlerden biri olarak kazıklı temel kullanımı ile yapılardan gelen yükler zeminin daha derin tabakalarına aktarılabilen, oturmayı sınırlayabilmekte ve bununla beraber deprem anında ortaya çıkabilecek sınırlama potansiyellerini engelleyebilmektedir (Mohajerani ve ark., 2016; Ateş ve Şadoğlu, 2022a; b; Sarıcı ve Özcan, 2024a; b). Vidalı kazıklar, icadının üzerinden uzunca zaman geçmiş olmasına karşın teknolojik gelişmeler ile beraber günümüzde kendine daha çok yer bulabilmektedir. Başlıca özellikleri arasında depolanabilir oluşu, uygulama kolaylığı ve uygulama yerinde ekosistemi tahrip etmiyor olması sıralanabilir (Perko, 2009; Mohajerani ve ark., 2016). Yine birkaç metreden birkaç yüz metreye varan uygulama derinliklerine sahip olması sebebiyle de pek çok inşaat mühendisliği projesinde tercih edilebilmektedir (Özcan, 2024). Ayrıca vidalı kazık uygulamaları ile eğimli arazilerde kazı-hafriyat çalışmalarına ihtiyaç duyulmadan imalatlar gerçekleştirilebilmektedir (Perko, 2009; Feng ve ark., 2021). Farklı örüntü ve sayıda oluşturulan vidalı kazık grupları ile küçük ve büyük ölçekli projelerde vidalı kazık uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca kohezyonlu veya kohezyonsuz zeminlerde, açık deniz yapılarında vidalı kazıklar kendine gün geçtikçe daha da fazla yer bulmaktadır (Vignesh ve Muthukumar, 2023; Sarıcı ve Özcan, 2024c).

Deprem sonrası dönemde ise, inşaat mühendisliği yapılarının zarar görmemiş olması durumunda dahi olabilecek artçı depremler sebebiyle insanlar ikamet ettikleri yapılara geri dönememektedir. Afetin büyüklüğüne bağlı olarak artçıların devam etme süresi ya da yapıların alanında uzman kişiler tarafından güvenli olduğunun belgelenmesi çok uzun sürebilmektedir. Nitekim 2023 yılının şubat ayında meydana gelen Kahramanmaraş depremleri sonrasında bu durum daha da iyi görülmüş ve anlaşılmıştır. Bahse konu incelemelerin tamamlanmasına kadar geçen sürede merkezi ve yerel yönetimler geçici konaklama merkezleri oluşturarak ihtiyaçlara cevap vermek üzere harekete geçmiştir. Ancak bu noktada geliştirilen çözümler tedarik ve üretim zincirine doğrudan bağlı olduğu için ne yazık ki bu süreç de uzamak durumunda kalmıştır. Geçici yerleşim merkezleri prefabrik konteyner evlerden oluşturulmak üzere planlanmış ancak konumlandırılacakları alanların düzeltilmesi, tesisatların yerleştirilmesi, konteyner altlarına beton dökülmesi ve çevre asfaltlarının imalatı gibi kalemlerde yaşanan tedarik aksamaları

ihtiyaçlara verilecek cevapları geciktirmiştir. Depremlerin kendi periyotları dahilinde tekrar ediyor olmaları sebebiyle gelecek afetler için önlemlerin alınması hayati önem taşımaktadır. Bu noktada, vidalı kazık sistemleri ile geçici yerleşim alanlarının inşasının hızlanabileceği düşünülmüş ve bu çalışmanın gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Literatür çalışmalarında da görülebileceği üzere vidalı kazıklar zayıf zeminlerde, eğimli arazilerde, küçük ya da büyük ölçekli yapılarda kullanılabilir. Ayrıca deprem sonrası yapılan incelemelerde de ülkemizde deprem etkisi altındaki bölgelerde yerleşim ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılan yöntemlerin afet sonrası zaman diliminde yeterli hız ve kapasitede olmadığı görülmüştür. Vidalı kazıkların kohezyonsuz zayıf zeminde basınç kuvveti altındaki davranışını ve acil durum eylem planlarında kullanılabilirliğini araştırmak üzere farklı değişkenler belirlenerek bu çalışmanın gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Bu bağlamda farklı helezon sayısı ve gömülme derinliğine sahip vidalı kazıklar kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar arasında uyum elde edildikten sonra, parametrik çalışmalar kapsamında helezon sayısı, gömülme derinliği ve helezon çapı gibi değişkenlerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Modellemelerde kullanılan katmanlı helezon modellemesi ile vidalı kazık davranışının daha doğru yansıtıldığı da görülmüştür. Bununla beraber deprem sonrası oluşturulan acil yerleşim bölgelerinde gözlemlenen sorunlara (konteynerlerin farklı oturma yapması, konteynerlerin sele kapılıp can ve mal kayıplarına sebep olması, dengeli bir yerleşim elde edilmediği için konteynerlerin yapısal deformasyona uğraması, konteyner yerleşimi için kazı, tesviye ve betonlama işlemlerinin uzun sürmesi vb.) cevap verilebilmesi hedeflenmiştir. Bu yönleriyle bu çalışmanın bahse konu sorunlara çözüm sağlaması ve genel/yerel yönetimler tarafından acil durum eylem planlarında karar alırken yol gösterici olması gibi sebeplerle özgün, yol gösterici ve faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar çalışmada kullanılan vidalı kazıklar ve özellikleri belirtilmiş kohezyonsuz zemin için yapılacak uygulama üzerine yerleştirilecek sonraki bölümlerde bahsi geçen konteyner tarzı yapı için geçerlidir. Saha uygulamalarında ve gelecek çalışmalarda, çalışmaya özgü zemin koşulları ve yapı elemanlarını içeren çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar fikir verici mahiyette olup tasarımda tek başına kullanılamaz.

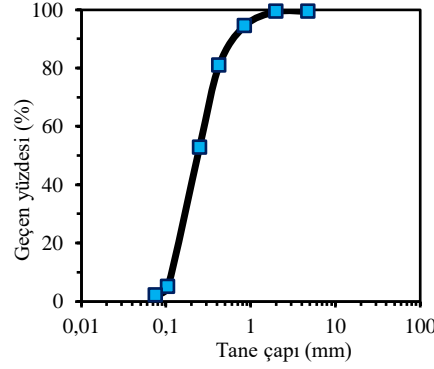
2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Çalışmalar

2.1.1. Kohezyonsuz zemin

Deney tankı içerisinde zayıf zemin ortamı oluşturmak için kullanılan kohezyonsuz zemin Malatya iline bağlı Yazılıhan ilçesinden temin edilmiştir. Temin edilen zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek üzere, elek analizi, piknometre deneyi, maksimum minimum boşluk oranı tayini deneyleri, el penetrometresi, kesme kutusu ve Kaliforniya taşıma gücü oranı deneyleri ilgili standartlara göre gerçekleştirilmiştir. Kohezyonsuz zeminin dane dağılımı eğrisi Şekil 1'de verilmiştir ve zemine ait diğer

özellikler Tablo 1’de görülmektedir. Kohezyonsuz zemin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi’ne (USCS) göre kötü derecelendirilmiş kum (SP) olarak sınıflandırılmıştır.



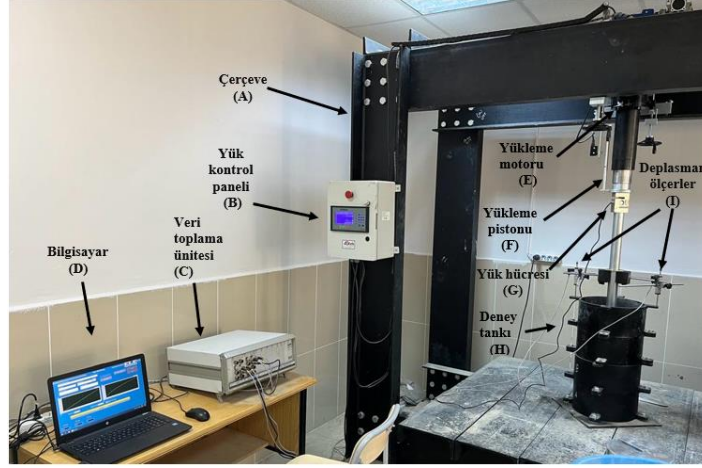
Şekil 1. Kohezyonsuz zeminin dane dağılımı eğrisi

Tablo 1. Kohezyonsuz zemine ait özellikler

Parametre	Birim	Değer	Standart
Özgül yoğunluk (G_s)	-	2,74	ASTM-D854
Maksimum kuru yoğunluk (ρ_{kmax})	Mg/m ³	1,65	ASTM-D4254
Minimum kuru yoğunluk (ρ_{kmin})	Mg/m ³	1,45	ASTM-D4254
Üniformluk katsayısı (C_u)	-	2,375	ASTM-D422
Eğrilik katsayısı (C_c)	-	0,926	ASTM-D422
Sınıflandırma	-	SP	ASTM-D2487
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	Derece (°)	40	ASTM-D3080

2.1.2. Model yükleme deney düzeneği

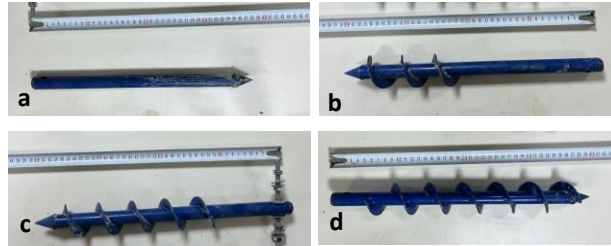
Deneysel çalışmalarda kazıklar üzerine yükleme yapmak için model yükleme test düzeneği kullanılmıştır. Model yükleme test düzeneğinin resmi Şekil 2’de verilmiştir. Model yükleme test düzeneği, çelik çerçeveye (Şekil 2-A) sabitlenmiş servo motor (Şekil 2-E) aracılığıyla yükleme pistonlarını (Şekil 2-F) hareket ettirerek çelik tank (Şekil 2-H) içine yerleştirilen yapıya kuvvet uygular. Yükleme pistonuna bağlı yük hücresi (Şekil 2-G) yük değerlerini, LVDT’ler (Şekil 2a-I) ise yer değiştirme değerlerini okumakta ve veriler veri kaydedici (Şekil 2-C) aracılığıyla bilgisayara (Şekil 2-D) aktarılmaktadır. Deneysel süreci ayarlamak için çelik çerçeve üzerine bir kontrol paneli (Şekil 2-B) yerleştirilmiştir. Yükleme hücresi ve LVDT’ler deneylere başlamadan önce yetkili firma tarafından kalibre edilmiştir. Model yükleme deney seti, piston 1 mm/dk hızda düşey yönlü hareket edecek şekilde ayarlanmış ve deney deplasman kontrollü olarak tamamlanmıştır. Vidalı kazık üst yüzeyi hemen piston altına yerleştirilmiş ve yük vidalı kazık üzerine uygulanmıştır. Deney tankı helezon çapının 6 katı ve deney tankının derinliği 60 cm olacak şekilde belirlenmiştir. Böylelikle vidalı kazığın zemin içerisinde oluşturacağı gerilmelerin deney tankının tabanı ve çevresi ile etkileşime girmemesi sağlanabilmiştir (Vignesh ve Muthukumar, 2023; Sarıcı ve Özcan, 2024a; b). Daha fazla ayrıntı için Özcan (2024) incelenebilir.



Şekil 2. Model yükleme deney seti

2.1.3. Vidalı kazıklar

Deneyisel çalışmalarda kohezyonsuz zemini güçlendirmek için kullanılan kazıklar yerel bir üreticiden temin edilmiştir. Kazıklar aynı uzunluk (39 cm), şaft çapı (2 cm) ve helezon çapına (5 cm) sahiptir ve paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Helezonlar vidalı kazıkların üzerine 5 cm helezonlar arası mesafe olacak şekilde kaynaklanarak yerleştirilmiştir. Çelik elemanlar 4 mm et kalınlığına sahiptir. Vidalı kazıklar aşınmayı engelleyecek şekilde üretim sonrası üretici tarafından boyanmıştır. Kazıkların görüntüleri Şekil 3'te gösterilmektedir. Kazıklar vidasız geleneksel kazık (TP), 3 helezonlu vidalı kazık (3HSP), 5 helezonlu vidalı kazık (5HSP) ve 7 helezonlu vidalı kazık (7HSP) olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Deneyisel çalışmalarda kullanılan vidalı kazıklar (a. TP, b. 3HSP, c. 5HSP, d. 7HSP)

2.2. Sayısal Analizler

Deneyisel çalışmaları modellemek üzere sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bir paket program olan Plaxis 3D kullanılmıştır. Modellemede zayıf zemin ortamını temsil etmek üzere 50 cm derinliğe ve 30 cm genişliğe sahip zemin hacmi oluşturulmuştur. Tanelerin yük altında daha da pekleştiği model olan hardening soil modeli zayıf zeminin davranışını temsil etmek üzere tercih edilmiştir. Kazık gövdesi rijit bir zemin hacmi olarak modellenmiş ve bu hacim zayıf bir plate tabakası ile çevrelenerek helezonlar ile bağlantı yapılabilmesi sağlanmıştır. Vidalı kazıkların helezonları için ise 90 derecelik dilimlerden oluşan dört parça plate eleman kademeli olarak kazık şaftı etrafına yerleştirilmiştir. Modelleme kullanılan malzeme özellikleri Tablo 2'de, zayıf zemini oluşturmak için kullanılan parametreler ise Tablo 3'te görülmektedir. Sayısal analizlerde oluşturulan mesh görüntüsü ve vidalı kazıkların görüntüleri ise Şekil 4'te verilmiştir. Mesh oluştururken uygun tane boyutunu belirlemek üzere

kullanılan yazılımın sunduğu aralıklar ile analizler gerçekleştirilmiş ve mesh hassaslığı grafiği oluşturulmuştur. Oluşturulan grafik (Şekil 5) incelendiğinde optimum mesh dağılımının “medium (17409 adet node)” olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

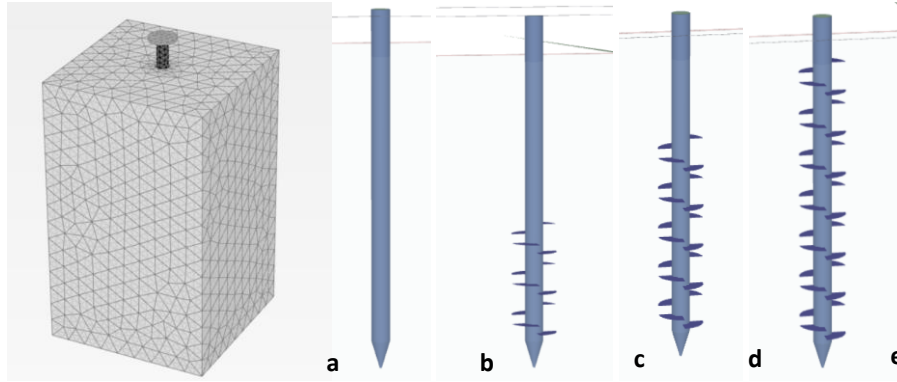
Tablo 2. Sayısal analizlerde kullanılan materyaller (Sarıcı ve Özcan, 2024a; b)

Materyal	Model	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν
Yükleme pistonu	Linear Elastic (Non- porous)	78,5	E= 200 x 10 ⁶	0,3
Kazık gövde hacmi	Linear Elastic (Non- porous)	78,5	E= 200 x 10 ⁶	0,3
Kazık gövdesi çevresi	Plate/Elastic	0,0785	E=200	-
Helezonlar	Plate/Elastic	78,5	E=200x10 ⁶	-

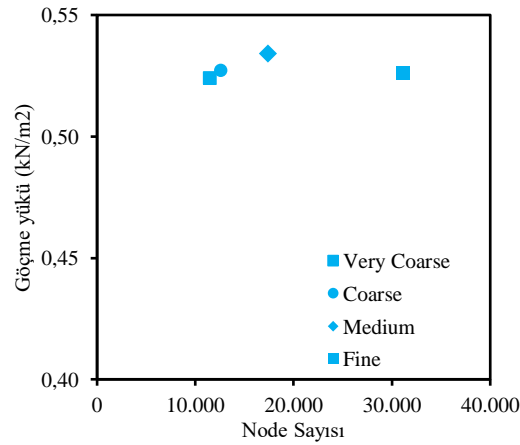
Burada; γ birim hacim ağırlık, E Young's modülü ve ν Poisson oranıdır.

Tablo 3. Sayısal analizlerde kullanılan zemin özellikleri (Sarıcı ve Özcan, 2024a)

Parametre	Kohezyonsuz Zemin
Zemin modeli	Hardening Soil (Drained)
Young modülü (kN/m ²)	E ₅₀ ^{ref} = 4250 E _{ur} ^{ref} = 4250 E _{oed} ^{ref} =12750
Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	14
İçsel sürtünme açısı	42
Dilatasyon açısı	12



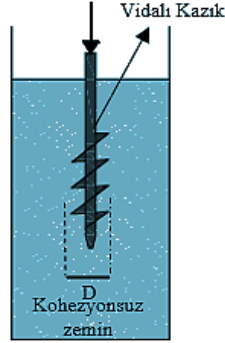
Şekil 4. Sayısal modelleme görüntüleri (a. Oluşturulan mesh, b. TP, c. 3HSP, d. 5HSP, e. 7HSP)



Şekil 5. Sayısal modelleme için yapılan mesh hassaslığı analizi

2.3. Deneysel Çalışmaların Gerçekleştirilmesi

Deneysel çalışmalar tek seri halinde kohezyonsuz zemine yerleştirilen vidalı kazıklar üzerine basınç kuvveti uygulayarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların şematik gösterimi Şekil 6’da verilmiştir. Deneysel çalışma programı ise Tablo 4’te görülmektedir.



Şekil 6. Deneysel çalışmaların şematik gösterimi

Tablo 4. Deneysel çalışma programı

Deney Numarası	Kazık Türü	Kuvvet Yönü
1	TP	Basınç
2	3HSP	Basınç
3	5HSP	Basınç
4	7HSP	Basınç

Deneysel çalışmalar kapsamında vidalı kazıkların kohezyonsuz zeminde basınç kuvveti etkisi altında davranışını incelemek üzere model yükleme deney seti ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Zayıf zemin ortamı oluşturmak için seçilen kohezyonsuz zemin %30 sıklıkta 5 cm yüksekliğinde tabakalar halinde toplam 10 tabaka olacak şekilde deney tankına yerleştirilmiştir. Her tabaka eşit enerji kullanılarak yağmurlama yöntemi ile yerleştirilmiş ve yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra her tabaka el penetrometresi ile kontrol edilmiştir. Tabaka yerleşimleri tamamlandıktan sonra zemin yüzeyi eşit parçalara bölünerek yüzey merkezi belirlenerek vidalı kazığın zemin yüzeyinin merkezine yerleştirilmesi sağlanmıştır. TP kazık zemine çakılarak; vidalı kazıklar ise döndürülerek monte edilmiştir. Daha sonra model yükleme deney setine deplasman ölçerler takılmış ve data logger ile bağlantısı sağlanmıştır. Deney hızı olarak 1 mm/dk seçilmiş ve deneyler bu hızda gerçekleştirilmiştir. Veriler bilgisayar üzerinden model yükleme setine ait yazılım kullanılarak işlenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Deplasman ölçerler, yük ölçerler ve diğer ekipmanlar deneyler başlamadan önce üretici firma tarafından kalibre edilmiştir.

2.4. Sayısal Analizlerin Gerçekleştirilmesi

Vidalı kazıkların kohezyonsuz zemin içerisinde basınç kuvveti altında davranışını incelemek üzere gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları ile sayısal analizlerin sonuçları arasında uyum elde edildikten sonra parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Parametrik analizlerde değişkenler olarak tank

boyutu, gömülme derinliği ve helezon çapı seçilmiştir. Sayısal ve parametrik analiz programı Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Sayısal ve parametrik analiz programı

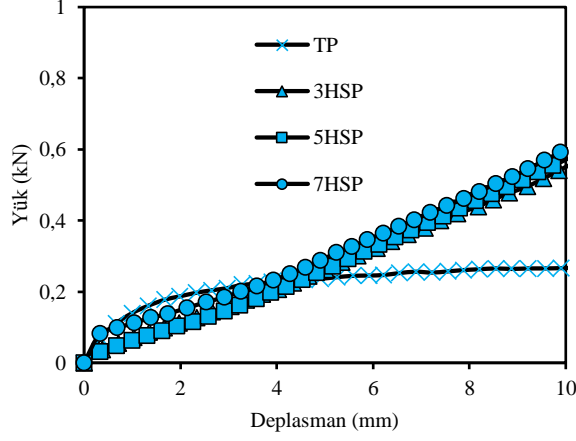
Analysis No	Güçlendirme Türü	Kuvvet Yönü
1	TP	Basınç
2	3HSP	Basınç
3	5HSP	Basınç
4	7HSP	Basınç
5	1HSP BT D=5 cm	Basınç
6	3HSP BT D=5 cm	Basınç
7	5HSP BT D=5 cm	Basınç
8	7HSP BT D=5 cm	Basınç
9	1HSP BT D=7,5 cm	Basınç
10	3HSP BT D=7,5 cm	Basınç
11	5HSP BT D=7,5 cm	Basınç
12	7HSP BT D=7,5 cm	Basınç
13	1HSP BT D=10 cm	Basınç
14	3HSP BT D=10 cm	Basınç
15	5HSP BT D=10 cm	Basınç
16	7HSP BT D=10 cm	Basınç
17	5HSP GD D=5 cm	Basınç
18	7HSP GD D=5 cm	Basınç
19	5HSP GD D=7,5 cm	Basınç
20	7HSP GD D=7,5 cm	Basınç
21	5HSP GD D=10 cm	Basınç
22	7HSP GD D=10 cm	Basınç

BT: Büyütülmüş tank, GD: Büyütülmüş gömülme derinliği, D: Helezon çapı

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

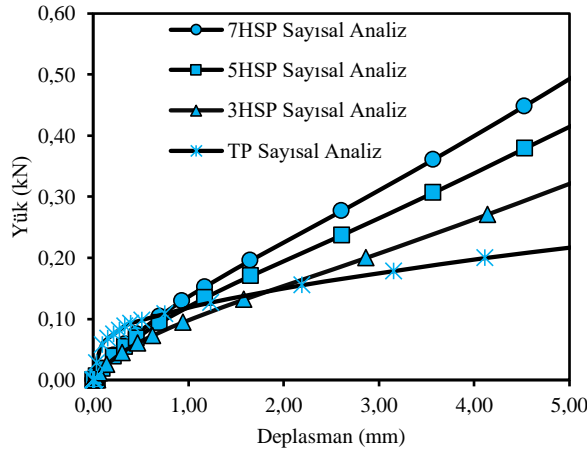
Kohezyonsuz zayıf zemin ortamına yerleştirilen vidalı kazıkların basınç kuvveti altındaki davranışını araştırmak üzere gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ait yük-deplasman eğrileri Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde basınç kuvveti etkisi altında taşıma kapasiteleri yüksekte düşüğe; 7HSP, 5HSP ve 3HSP olarak sıralanmaktadır. Her vidalı kazık türü için artan deplasmana karşılık yük doğrusal bir şekilde artmaktadır. Geleneksel helezonsuz kazık (TP) ise 4 mm’lik deplasmana kadar diğer vidalı kazık türlerine yakın dayanım gösterse dahi daha sonra azalan artış rejimine geçmiştir. Bu durumun kazık ucunda oluşan uç kuvvetleri kaynaklı daha da sıkılaştıran bölgenin daha gevşek çevre zemininden daha erken deformasyonda sıyrılması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Ancak vidalı kazıklarda en üst helezondan en alt helezona kadar uzanan bölgede oluşan ve en alt helezondan kazık ucuna kadar helezon alanı boyunca aktarılan gerilmeler nedeniyle sıkışmaya, dolayısıyla direnç göstermeye zorlanan zemin hacmi daha büyüktür. Bu hacmin uç kuvvetleri ile birleşerek helezonsuz kazığa oranla daha yüksek taşıma kapasitelerine ulaştığı öngörülmüştür. Bununla beraber artan helezon sayısı da zemin içerisinde gerilme oluşan hacimleri arttıracığı için en fazla helezon sayısına sahip olan 7HSP’nin en iyi performansı gösterdiği düşünülmektedir.



Şekil 7. Deneysel çalışma kapsamında elde edilen sonuçların yük-deplasman eğrileri

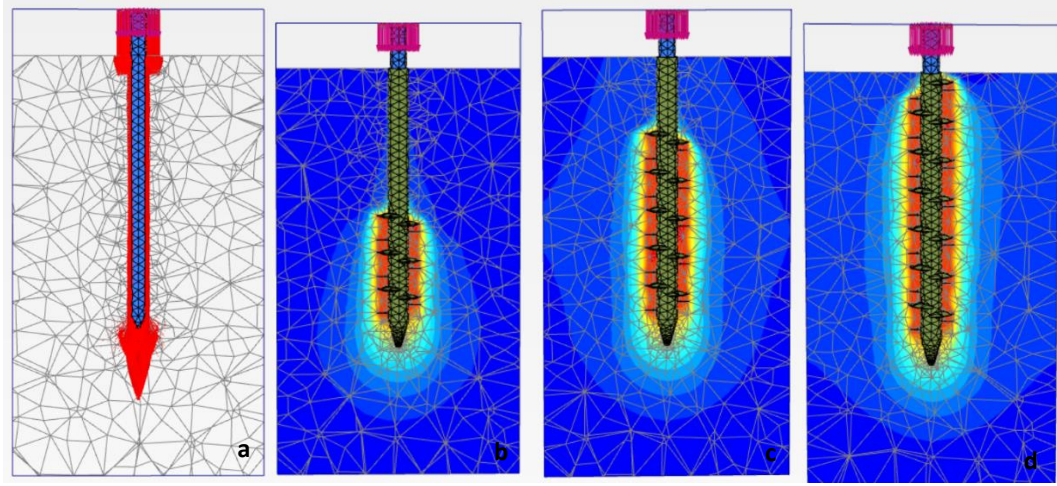
3.2. Sayısal Analiz Sonuçları

Sayısal analizlerde vidalı kazıkların davranışını incelemek üzere daha detaylı araştırma yapmak ve bu davranışı görselleştirebilmek üzere analizler gerçekleştirilmiştir. Modelleme tamamlandıktan sonra ön tanımlı deplasman tanımlanarak vidalı kazıklar basınç yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Sayısal analizler kapsamında elde edilen sonuçların yük-deplasman eğrileri

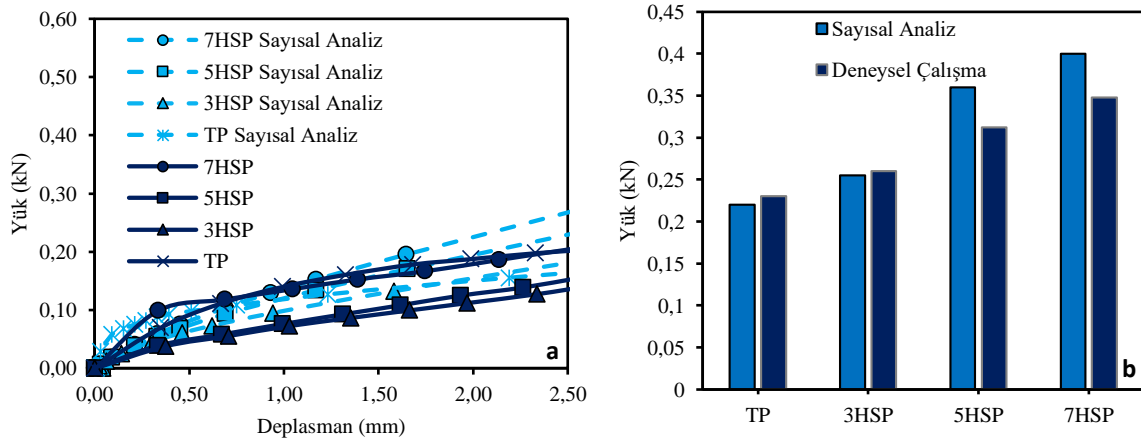
Şekil 8’de de görüleceği üzere deneysel çalışmalarda olduğu gibi artan deplasmana karşılık doğrusal yük artışı görülmektedir. Yine sayısal analizlerde de en iyi performansı 7HSP göstermiştir. Sayısal analiz sonuçlarının çıktıkları ile oluşturulan vidalı kazık davranışı görselleri Şekil 9’da verilmiştir. Görseller incelendiğinde TP için gerilmelerin kazık şaftı çevresinde ve kazık uç bölgesinde, vidalı kazıklar için ise en üst helezondan en alt helezona kadar silindirik bir kayma düzlemi boyunca devam ederek kazık uç kuvvetleri ile birleştiği görülmektedir. Gerilme alanlarının helezon sayısındaki artış ile artması sonucunda da taşıma kapasitesi bu davranışa bağlı olarak daha da artmaktadır. Daha az helezon sayısında kazık yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvvetlerinin büyüklüğü ise, helezonlar tarafından oluşturulan gerilme alanlarına kıyasla çok küçüktür.



Şekil 9. Vidalı kazık-zemin etkileşimi görüntüleri (a. TP, b. 3HSP, c. 5HSP, d.7HSP)

3.2. Deneysel Çalışma Sonuçları ile Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneysel çalışmalar ve sayısal analizler tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçlar modelin doğruluğunu incelemek üzere karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Eğriler incelendiğinde deneysel çalışmalarda ve sayısal analizlerde basınç kuvveti etkisi altındaki vidalı kazıkların davranışlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen uyum sonrasında oluşturulan bu yeni modelin parametrik çalışmalar için uygun olduğu düşünülmüştür.



Şekil 10. Deneysel çalışmaların ve sayısal analizlerin sonuçlarının karşılaştırılması (a. Yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması, b. Göçme yüklerinin karşılaştırılması)

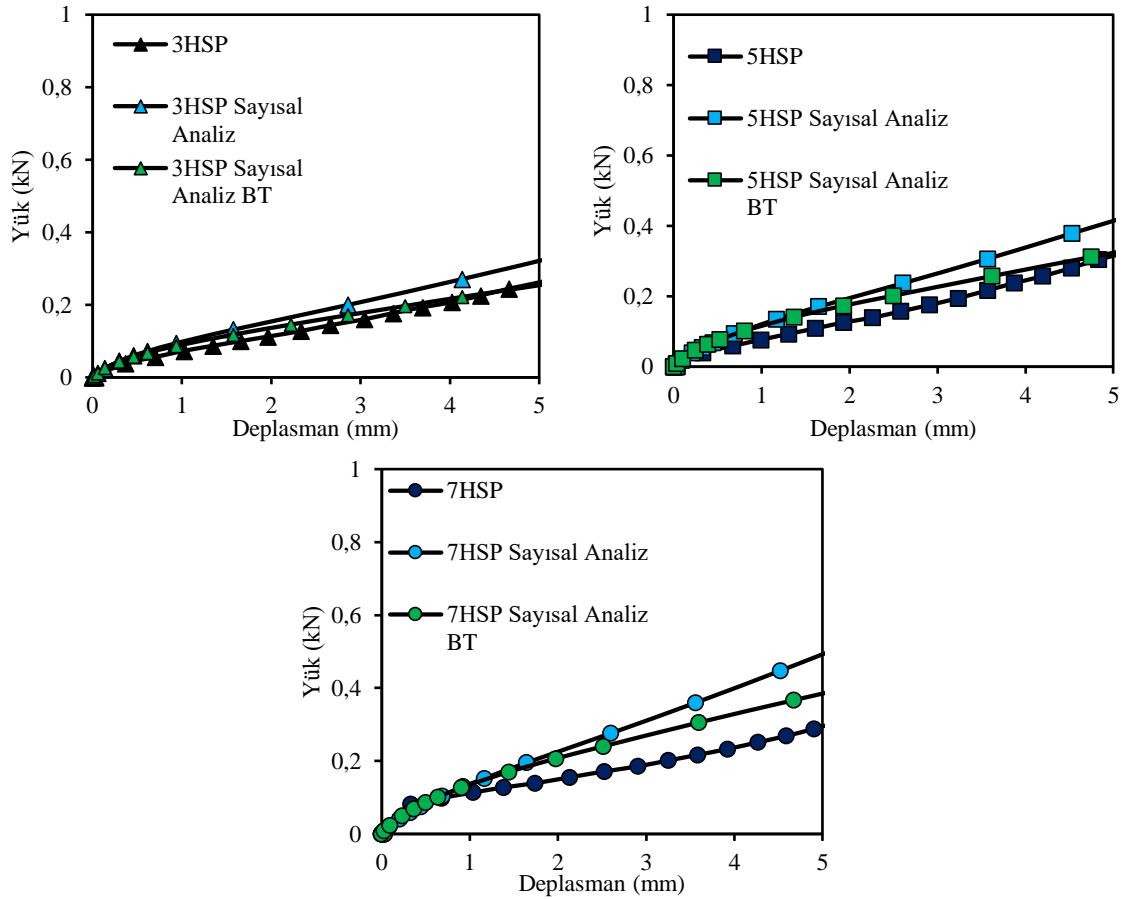
3.4. Parametrik Analizler

Sayısal analizler için oluşturulan modelin doğrulaması yapıldıktan sonra parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Parametrik çalışmalar için ilk önce gerilmelerin model sınırları içerisinde kalıp kalmadığını anlamak üzere ölçek etkisi araştırmaları yapılmıştır. Ölçek etkisi araştırmasında modellenen zemin ortamı büyütülerek yük-deplasman eğrileri oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra vidalı kazıkların performansını değerlendirmek üzere iyileştirme yüzdeleri ve helezon verimliliği gibi parametreleri elde edebilmek için tek helezonlu vidalı kazık (1HSP)

modellenmiştir. Sonraki aşamalarda ise farklı helezon çapları ile (5 cm, 7,5 cm ve 10 cm) analizler gerçekleştirilmiştir. Vidalı kazıkların taşıma kapasitesine ve yük altındaki davranışına gömülme derinliğinin etkisini araştırmak için ise 5HSP ve 7HSP için gömülme derinliği 3HSP ile aynı seviyeye (18 cm) getirilmiş ve analizler tamamlanmıştır.

3.4.1. Ölçek etkisi araştırmaları

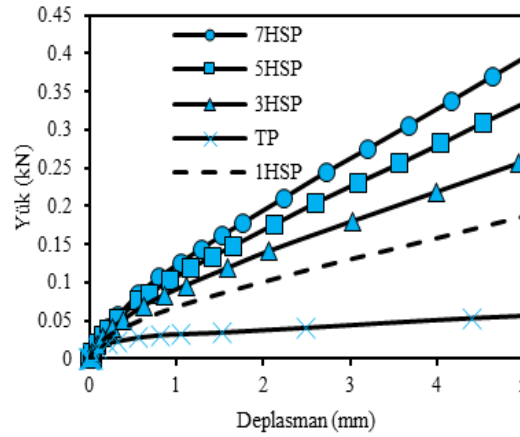
Modellenen zemin ortamı boyutları ölçek etkisi olup olmadığını araştırmak üzere arttırılmıştır (1,2 m x 1,2 m x 1,2 m x 1,5 m). Model boyutları arttırıldığında mesh için tercih edilen tane boyutunun da değiştirilmesi gerekmektedir. Çünkü “node” sayısını aynı tutmak daha geniş zemin ortamında daha büyük tane parçalarının oluşmasına sebep olarak daha rijit taneler oluşturmaktadır. Bu bağlamda büyütülmüş model için mesh tane boyutu “very fine” olarak değiştirilmiştir. Ölçek etkisi araştırması kapsamında elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 11’de görülmektedir. Yük-deplasman eğrileri incelendiğinde büyütülmüş model için de yük altında vidalı kazıkların davranışının çok yakın olduğu görülmektedir. Arada oluşan farkın ise “very fine” opsiyonundan daha ince bir seçenek olmaması sebebiyle oluştuğu ve ihmal edilebilir seviyede olduğu düşünülmüş ve modellemelerde ölçek etkisi olmadığı kabul edilmiştir.



Şekil 11. 3HSP, 5HSP ve 7HSP için ölçek etkisi araştırmasının yük-deplasman eğrileri

3.4.2. Tek helezonlu vidalı kazık

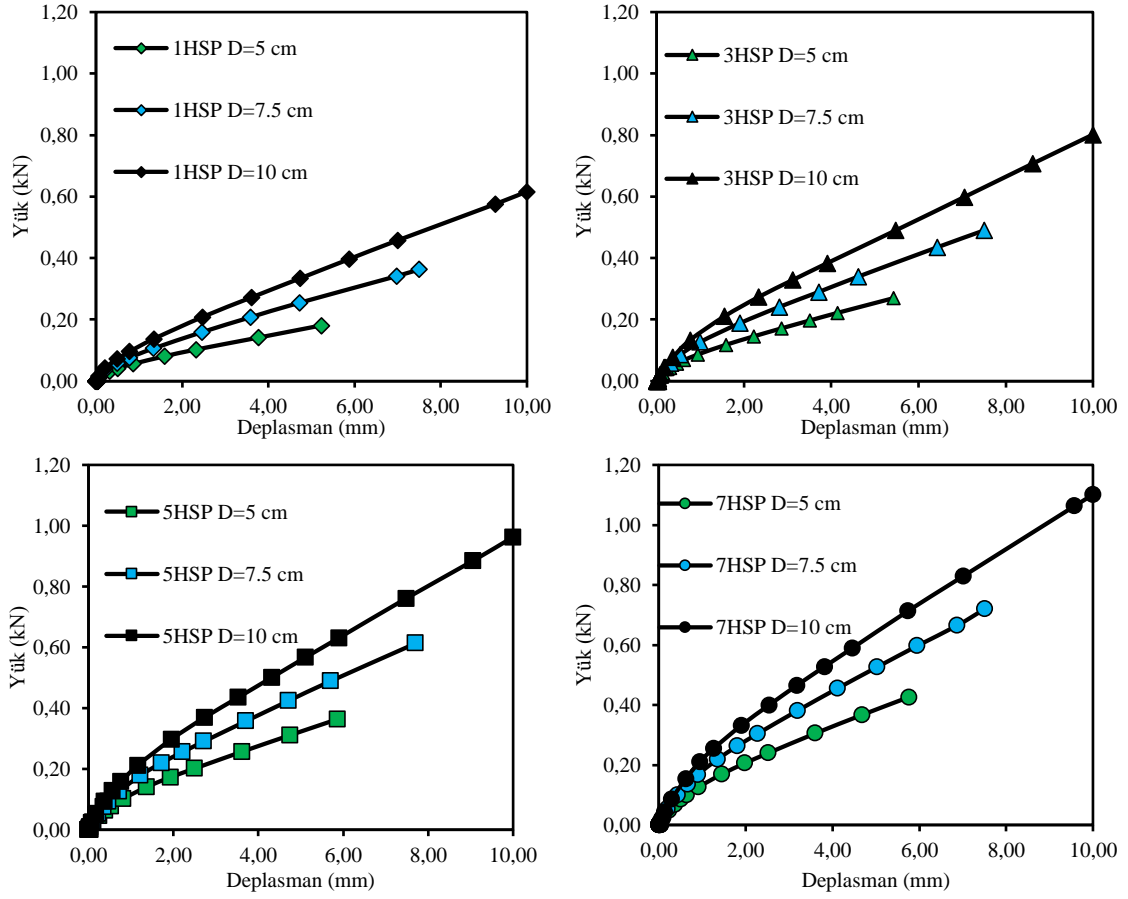
Ölçek etkisi araştırmaları tamamlandıktan sonra vidalı kazıkların performansını daha detaylı irdeleyebilmek üzere iyileşme yüzdesi ve helezon sayısı verimliliği parametrelerini hesaplayabilmek için ilk aşamada tek helezonlu vidalı kazık (1HSP) modellenmiştir. 1HSP için elde edilen yük-deplasman eğrisi ve diğer kazıklara ait eğriler Şekil 12’ de verilmiştir. Eğriler incelendiğinde 1HSP’nin davranışının diğer vidalı kazıklar ile benzer olduğu görülmektedir. Kazık şaftı boyunca sürtünme kuvvetleri, kazık ucuna doğru helezondan kazık ucuna doğru oluşan gerilme alanları nedeniyle TP kullanımına oranla daha yüksek taşıma kapasitesi sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen yük-deplasman eğrisinde 3HSP’den daha az ve TP’den daha yüksek değerler okunması da modelin doğruluğunu desteklemektedir.



Şekil 12. 1HSP kullanımı için elde edilen yük-deplasman eğrileri

3.4.3. Helezon apı etkisi

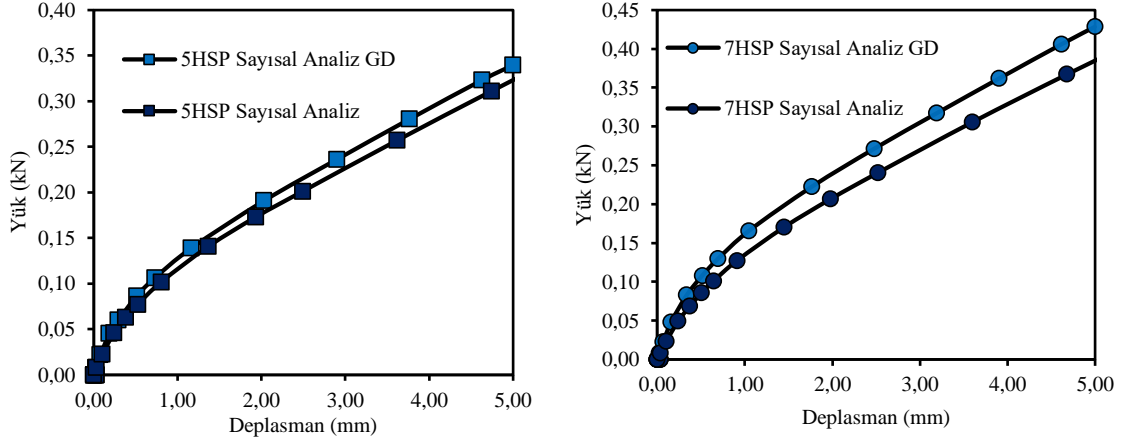
Sonraki aşamada helezon çapının taşıma kapasitesine ve yük altındaki vidalı kazık davranışına etkisini araştırmak üzere farklı helezon çaplarında (5 cm, 7,5 cm ve 10 cm) vidalı kazıklar modellenerek analizler gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları Şekil 13’te verilmiştir. Şekil 13 incelendiğinde tüm vidalı kazık türleri için helezon çapı arttıķta taşıma kapasitesinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeninin Helezonlar arası mesafenin helezon çapına eşit/küçük olması sebebiyle daha büyük helezon kullanımında da silindirik kayma yenilmesi gerçekleşmiştir. Zemin içerisinde vidalı kazıklar tarafından oluşturulan gerilme bölgelerinin helezonlar boyunca devam etmesi ve dolayısıyla helezon çapındaki artışın gerilme oluşan bölgenin büyümesine sebep olması sebebiyle; kohezyonsuz zeminlerde vidalı kazıkların helezon çapındaki artışın taşıma kapasitesine olumlu bir katkısı olduğu görülmektedir.



Şekil 13. 1HSP, 3HSP, 5HSP ve 7HSP kullanımında farklı helezon çaplarının etkisi

3.4.4. Gömülme derinliği etkisi

Sonraki aşamada gömülme derinliğinin taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek üzere 5HSP ve 7HSP'nin gömülme derinliği 3HSP ile aynı seviyeye (18 cm) çıkarılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 14'te görülmektedir. Eğriler incelendiğinde taşıma gücünde ufak da olsa bir artış görülmektedir. Bu duruma gömülme derinliği ile beraber zemin ile etkileşime geçen shaft uzunluğunun artmasının ve shaft etrafında sürtünme kaynaklı daha fazla gerilme oluşmasının neden olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda gömülme derinliği artışı ile taşıma kapasitenin arttığını söylemek mümkündür.

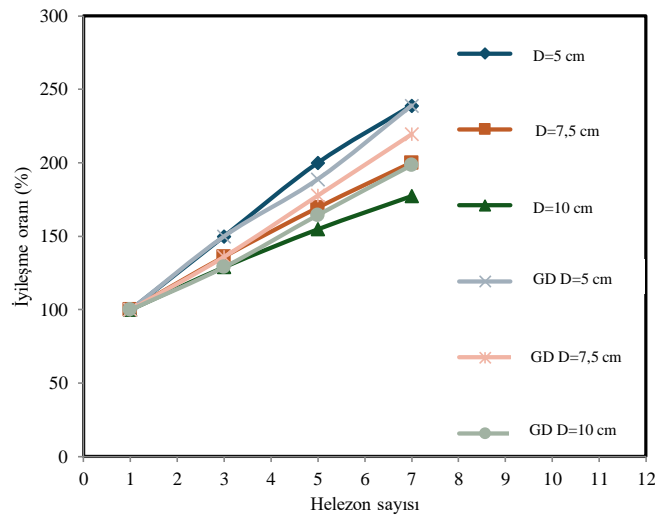


Şekil 14. Gömülme derinliği artışı analizlerinin yük-deplasman eğrileri

3.5. İyileşme Oranları ve Helezon Sayısı Verimliliği

Deneysel çalışmalar, sayısal analizler ve parametrik analizler tamamlandıktan sonra vidalı kazıkların kohezyonsuz zeminde basınç kuvveti altındaki performansını daha detaylı irdeleyebilmek için iyileşme oranları ve helezon sayısı verimliliği değerleri hesaplanmıştır.

İyileşme oranı; elde edilen taşıma kapasitesinin tek helezonlu vidalı kazığın taşıma kapasitesine oranının yüzde ile gösterimini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ile hesaplanan iyileşme oranı yüzdelere ait grafik Şekil 15’te verilmiştir. Şekil 15 incelendiğinde helezon sayısındaki artış, helezon çapındaki artış ve gömülme derinliğindeki artış ile iyileşme oranlarının arttığı görülmektedir. Bu artışlar değişken türüne farklı yüzdelerde olmakla beraber, %238 mertebelerine kadar ulaşabilmıştır. Böylelikle ekstra kazıklar eklemek yerine parametrik analizlerde kullanılan değişkenler yardımıyla kazıklardan elde edilecek performansın daha ekonomik olacak şekilde elde edilebileceği düşünülmektedir.



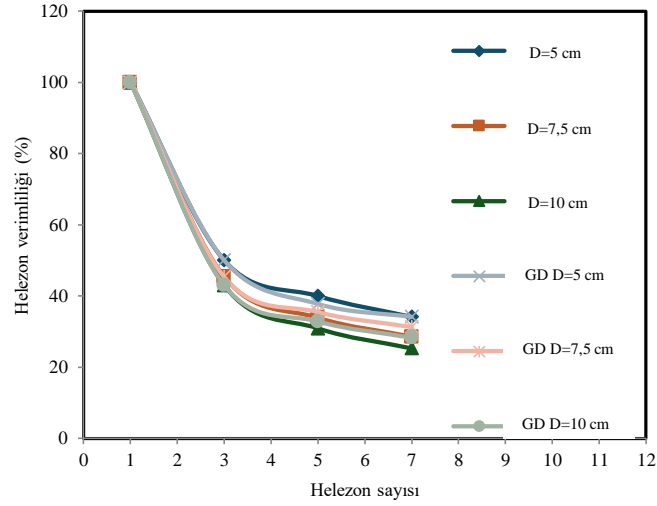
Şekil 15. İyileşme oranı eğrileri

Helezon sayısı verimliliği farklı helezon sayılarının kullanımının vidalı kazıkların performansı üzerindeki etkisini araştırmak üzere kullanılan Lutenegeger (2011) tarafından önerilen Bağıntı 1.

yardımıyla hesaplanan bir parametredir. Bu hesaplamada çok helezonlu vidalı kazığın taşıma kapasitesi helezon sayısına bölünerek tek helezonlu vidalı kazığın taşıma kapasitesine oranlanmaktadır. Böylelikle helezon sayısındaki artış ile elde edilen taşıma kapasitesi oranı yorumlanmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen helezon sayısı verimliliği eğrileri Şekil 16’da görülmektedir.

$$\eta = (Q_{MU}/N)/Q_{IU} \times 100\% \quad (1)$$

Burada; η , helezon sayısı verimliliği, Q_{MU} çok helezonlu kazığın taşıma gücünü, N , helezon sayısını, Q_{IU} tek helezonlu kazığın taşıma kapasitesini ifade etmektedir.



Şekil 16. Helezon sayısı verimliliği eğrileri

Şekil 16 incelendiğinde helezon sayısındaki artış ile elde edilen verimliliğin azaldığı görülmektedir. Ancak helezon sayısı arttıkça verimlilik kaybı daha da azalmaktadır. Verimlilikte görülen azalma olumsuz bir durum gibi görünse dahi iyileşme yüzdeleri ve taşıma kapasiteleri değerlendirildiğinde en az verimlilik kaybı ile seçilecek vidalı kazıktan optimum performans alınması mümkün olabilmektedir. Dolayısıyla projeler için uygun yöntemi seçerken elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi elzemdir.

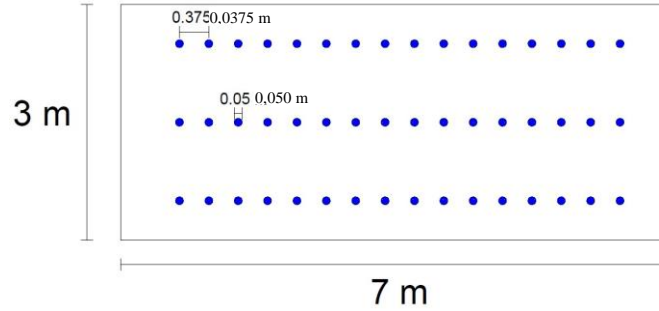
3.6. Prefabrik Konteyner Yapı İçin Örnek Hesaplama

Halihazırda ülkemizde konteyner üretimi yapan firmaların verilerine göre (Anonim, 2024a; 2024b; 2024c) deprem sonrası oluşturulan konteyner kentlerde kullanılan konteynerlerin (Şekil 17) kütlesi boş konteyner için 10,96 kN ile 15,94 kN olarak değişmekte ve dolu hali için maksimum taşıma kapasitesi konteyner ağırlığına ek olarak 0,78-1,96 kN/m² arasında değişmektedir ve bu da 3 m x 7 m ölçülerindeki konteynerler için 27,90 kN ile 50,82 kN olarak değişmektedir. Bu çalışma kapsamında 7HSP ve 10 cm helezon çapı için elde edilen taşıma kapasitesi 1,09 kN 'dur. Bu bağlamda boş konteyner kurulumu için minimum 10 maksimum 15 adet vidalı kazık gerekmektedir. Tamamen dolu olduğu durumda ise minimum 26 maksimum 47 adet vidalı kazığa ihtiyaç vardır. Bu hesaplamalarda konteynerden gelen

yükün tamamının kazıklar tarafından taşınacağı düşünülmüştür. Örnek vidalı kazık yerleşimi Şekil 18’de görülmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında kullanılan kazıklar mikro kazıklar olup saha uygulamalarında kullanılan daha büyük ölçekli ve grup halindeki kazıklar değerlendirildiğinde (Sarıcı ve Özcan, 2024c) 0,06 m shaft çapı, 0,074 m helezon çapı ve 0,60 m kazık uzunluğuna sahip 4 adet 8 helezonlu vidalı kazığın yaklaşık 10 kN yük taşıdığı görülmektedir. Dolayısıyla boş konteyner için gereken vidalı kazık maksimum 8 adet olacaktır. Konteyner kapasitesinin tamamı kadar yük aldığı anda ise bu sayılar minimum 12 ve maksimum 21 adet olacaktır. Burada bahse konu maksimum kapasitesi prefabrik elemanların taşıyabileceği maksimum yükler olup yerleşim bölgelerinde bu yüklerle ulaşılmadığı da görülmektedir.



Şekil 17. Afet sonrası konteyner kentlerde kullanılan prefabrik konteyner görüntüsü (Anonim, 2024d)



Şekil 18. Hesaplama için kullanılan vidalı kazık yerleşimi

Şekil 18 incelendiğinde vidalı kazıkların konteyner taban alanı içerisinde örnek dağılımı görülebilmektedir. Ayrıca bu yerleşim ile kazıkların arasında kalan merkezden merkeze mesafe değeri 375 cm olup helezon çapının 7 katından fazladır. Bu yerleşim ve kazıklar arası mesafe ile kazıklar arasında grup etkileşimi olmayacağı literatürdeki çalışma sonuçlarından (Ateş ve Şadoğlu, 2023; Vignesh ve Muthukumar, 2023; Sarıcı ve Özcan, 2024c) yola çıkarak öngörülmektedir. Bu bağlamda hem bu çalışmadaki tekli kazık taşıma kapasiteleri değerlendirildiğinde hem de literatürde grup halindeki kazıklar üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile deprem sonrası acil eylem planları içerisinde yer alan geçici yerleşim merkezlerinin oluşturulmasında, vidalı kazık sistemlerinin

güvenle kullanılabilmesi ve ekonomik bir çözüm olacağı düşünülmektedir. Ayrıca temin edilen vidalı kazıkların yeniden kullanılabilmesi, bakım maliyetlerini çok düşük olması, monte edildiği ekosisteme zararının çok küçük olması gibi avantajları ile de kullanım ömrü boyunca önemli kazançlar sağlayacaktır.

3. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında kohezyonsuz zayıf zemine monte edilen vidalı kazıkların basınç kuvveti altındaki davranışını incelemek üzere deneysel çalışmalar, sayısal analizler ve parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile helezon verimliliği ve iyileşme yüzdesi gibi parametreler hesaplanarak vidalı kazık davranışı daha detaylı irdelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kohezyonsuz zeminde vidalı kazık kullanımı zeminin taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Helezon sayısı, helezon çapı ve gömülme derinliğindeki artışlar taşıma kapasitesine olumlu etkiler sağlamaktadır. Öyle ki iyileşme oranları değerlendirildiğinde, bu değişkenler ile taşıma kapasitesinde %238 mertebelerine kadar artışlar gözlemlenmiştir. Helezon sayısı verimliliği ve iyileşme oranı birlikte değerlendirilerek, yerleşim bölgelerinde vidalı kazık sayısı ve/veya vidalı kazık değişkenleri değerlendirilerek optimum yerleşim belirlenebileceği düşünülmektedir.
- Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, afet sonrası yerleşim bölgelerinde kullanılan prefabrik yapıların vidalı kazık sistemleri ile güvenle taşınabileceği düşünülmektedir. Ayrıca vidalı kazıklarında uygulamada sahip olduğu avantajlar sayesinde acil durum eylem planlarında kendine daha çok yer bulacağı öngörülmektedir.
- Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ilgili zemin ve kazıkları kapsıyor olup, başka projelerde ve tasarımda tek başına kullanılamaz. Her inşaat mühendisliği projesi öncesinde uygun temel yöntemini belirlerken ilgili şartname ve yönetmeliklerin takip edilmesi ve uygulanması şarttır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Talha Sarıcı: Araştırma; Metodoloji; Proje yönetimi; Kaynaklar; Yazılım; Gözden geçirme; Doğrulama; Yazım—orijinal taslak; Yazım—inceleme & düzenleme. Mustafa Özcan: Biçimsel analiz, Modelleme, Veri Toplama, Yazım-inceleme ve düzenleme. Tüm yazarlar makalenin bu versiyonunu yayınlamayı kabul etmiştir.

Kaynakça

- Altaf S., Sharma A., Singh KA. Sustainable utilization of waste foundry sand in soil stabilization: a review. *Bull Eng Geol Environ* 2024; 83: 143. <https://doi.org/10.1007/s10064-024-03638-5>.
- Anonim. Konteyner ölçüleri. 2024a. <https://www.konteyner.com/konteyner-teknik-ozellikleri/> (Erişim tarihi: 23/06/2024)
- Anonim. Konteyner ölçüleri. 2024b. <https://www.prefabrikyapi.com/konteyner/> (Erişim tarihi: 23/06/2024)
- Anonim. Konteyner teknik özellikleri. 2024c. <https://www.novaprefabrik.com/konteyner-teknik-ozellikleri/> (Erişim tarihi: 23/06/2024)
- Anonim. 3m x 7m Konteyner. 2024d. <https://www.konteynervar.com/urun/uygun-fiyata-tek-odali-konteyner/> (Erişim tarihi: 23/06/2024)
- ASTM D422 - 63 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. Astm Int', 2007.
- ASTM D854-02 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Astm Int'L, 2022.
- ASTM D2487 – 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Astm Int'L, 2011.
- ASTM D3080 / D3080M – 11 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Astm Int'L, 2011.
- ASTM D4254-16 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density. Astm Int'L, 2016.
- Ateş B., Şadoğlu E. Experimental investigation of optimum piles spacing for piled raft foundation in sandy soils. *Technical Journal* 2021; 32(1): 10477-10494.
- Ateş, B., Şadoğlu, E. Experimental investigation of pile addition and length on bearing capacity and settlement of rafts on loose sandy soil. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*. 2021; 2: 399-407.
- Ateş B., Şadoğlu E. Experimental and numerical investigation of load sharing ratio for piled raft foundation in granular soils. *KSCE J. Civ. Eng.* 2022; 26: 1662–1673.
- Ateş B., Şadoğlu E. Experimental and numerical investigation for vertical stress increments of model piled raft foundation in sandy soil. *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.* 2022; 46: 309–326.
- Ateş B., Şadoğlu E. Experimental investigation for group efficiency of driven piles embedded in cohesionless soil. *KSCE J. Civ. Eng.* 2023; 27: 5123-5134. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1580-0>.
- Demir A., Ok B. Uplift response of multi-plate helical anchors in cohesive soil. *Geomechanics and Engineering* 2015; 8(4). <https://doi.org/10.12989/gae.2015.8.4.615>
- Demir A., Ok B. Helisel ankraj plakalarının tabakalı zeminlerdeki çekme kapasitelerinin incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2015; 3(2).

- Demir A., Ok B., Sarici T. Evaluation of rockfill stabilized-geosynthetics reinforced road base with repeated plate loading tests. *Applied Sciences* 2024; 14(7): 3042. <https://doi.org/10.3390/app14073042>.
- Demir A., Sarici T. Bearing capacity of footing supported by geogrid encased stone columns on soft soil. *Geomechanics and Engineering* 2017; 12(3): 417-439. <https://doi.org/10.12989/gae.2017.12.3.417>
- Feng SJ., Fu WD., Chen HX., Li HX., Xie YL., Lv SF., Li J. Field tests of micro screw anchor piles under different loading conditions at three soil sites. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 2021; 80: 127–144. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01956-y>.
- Lutenegger AJ. Behavior of multi-helix screw anchors in sand. In *Proceedings of the 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2011, Toronto, Canada.
- Mohajerani A., Bosnjak D., Bromwich D. Analysis and design methods of screw piles: a review. *Soils and Foundations* 2016; 56(1): 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2016.01.009>.
- Özcan M. Vidalı kazıkların zayıf zeminlerde taşıma kapasitesinin deneysel ve sayısal çalışmalarla incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye, 2024.
- Perko HA. *Helical piles: A Practical Guide to Design and Installation*, New York: John Wiley & Sons; 2009.
- Sarıcı T., Özcan M. Using geopolymer coated and uncoated geotextile as a hybrid method to improve uplift capacity of screw piles in cohesionless soil. *Alexandria Engineering Journal* 2024; 105, 666-681. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.08.042>
- Sarıcı T., Özcan M. Investigation of screw pile behavior in cohesive soil under uplift and compressive forces by experimental studies and numerical analyses. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2024; 1-22. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09553-x>
- Sarıcı T., Özcan M. Vidalı kazıkların çekme ve basınç kuvveti altında davranışının incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2024; 13(3). <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1380651>.
- Vignesh V., Muthukumar M. Experimental and numerical study of group effect on the behavior of helical piles in soft clays under uplift and lateral loading. *Ocean Engineering* 2023; 268. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113500>.

PEME-PDMYH Sistemi Kaynaklı Oluşan Isı Kaynağının ORÇ Birleşeni ile Verimlilik ve Ekonomik Analizi

Sefa Salim ÖRNEK^{1*}, Burak KURŞUN², Korhan ÖKTEN³, Levent UĞUR⁴

¹. Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı, 05000, Amasya

^{2,3,4} Amasya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 05000, Amasya

¹<https://orcid.org/0009-0002-7337-2596>

²<https://orcid.org/0000-0001-5878-3894>

³<https://orcid.org/0000-0002-8728-8785>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-3447-3191>

*Sorumlu yazar: sefasalim@hotmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.02.2024

Kabul tarihi: 29.08.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Hidrojen

Proton elektrolit membranlı elektrolizör

Proton değişim membranlı yakıt hücresi

Organik rankine çevrimi

Fosil yakıtların çevresel zararlarından dolayı temiz enerji dönüşüm sistemleri ve enerji depolama alanındaki çalışmalar yaygın hale gelmiştir. Enerji dönüşüm ve depolama sistemleri arasında en çok kullanılan sistemlerden biri de hidrojen temelli, Proton Elektrolit Membranlı Elektrolizör (PEME) ve Proton Değişim Membranlı Yakıt Hücresi (PDMYH) birleşimidir. Bu birleşimde PEME hidrojen üretiminde, PDMYH ise hidrojenden elektrik üretiminde kullanılan sistemlerdir. Bu çalışmada PEME-PDMYH birleşimine ek olarak PDMYH'den elde edilen atık ısı ile Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) çevriminden de elektrik eldesi araştırılmıştır. Bu araştırma için PEME-PDMYH ve PEME-PDMYH-ORÇ sistemleri parametrik olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma parametreleri olarak PEME hücre sayısı, şarj süresi, deşarj süresi ve ORÇ evaporatör basıncı seçilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak PEME'de tüketilen, PDMYH ve ORÇ'de üretilen elektrik, çevrim verimi, Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti (SEM) değerleri sistem çıktısı olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda en etkin parametre olan PEME hücre sayısına bağlı olarak PDMYH ve ORÇ'de üretilen elektrik, yaklaşık 3 kat artmıştır. Bunun yanında ORÇ kullanımı ile çevrim veriminin %1-2,5 arasında arttığı saptanmıştır. Son olarak ORÇ'li ve ORÇ'siz sistemler arasında SEM değerleri arasında büyük farklar olmadığı görülmüştür.

Efficiency and Economic Analysis of the Heat Source Originated from the PEME-PDMYH System with the ORC Component

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 29.02.2024

Accepted: 29.08.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Hydrogen

Proton exchange membrane electrolyzer

Proton exchange membrane fuel cell

Organic rankine cycle

Due to the environmental damage of fossil fuels, studies in the field of clean energy production systems and energy storage have become widespread. One of the most used systems among energy production and storage systems is the combination of hydrogen-based, Proton Exchange Membrane Electrolyzer (PEME) and Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). In this combination, PEME is the system used in hydrogen production and PEMFC is the system used in the production of electricity from hydrogen. In this study, in addition to the PEME-PEMFC compound, the generation of electricity from the ORC (Organic Rankine cycle) with the waste heat obtained from PEMFC was investigated. For this research, PEME-PEMFC and PEME-PEMFC-ORC systems were compared parametrically. Number of PEME cells, charging time, discharge time and ORC evaporator pressure were selected as comparison parameters. Depending on these parameters, the electricity consumed in PEME and produced in PEMYH and ORC, cycle efficiency and Levelized Cost of Electricity (LCOS) values were selected as system output. As a result of the

study, depending on the number of PEME cells, which is the most effective parameter, the electricity production produced in PEMFC and ORC increased approximately 3 times, and it was determined that the cycle efficiency increased by 1-2,5% with the use of ORC. Finally, it has been observed that there are no major differences in LCOS values between systems with and without ORC.

To Cite: Örnek SS., Kurşun B., Ökten K., Uğur L. PEME-PDMYH Sistemi Kaynaklı Oluşan Isı Kaynağının ORÇ Birleşeni ile Verimlilik ve Ekonomik Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 773-793.

1.Giriş

Dünyada meydana gelen nüfus artışı ve endüstriyel gelişmelere bağlı olarak enerji ihtiyacının sürekli artması sonucunda bu ihtiyacın büyük kısmını karşılayan petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil enerji kaynakları da hızla tükenmektedir (Turan ve ark., 2013; Ozen ve ark., 2016). Bu petrol türevi hidrokarbon kökenli yakıtların yaygın kullanımı, enerji ihtiyacını karşılamasına rağmen beraberinde hava kirliliğini de getirmektedir. Bu durum, atmosferdeki sera gazlarının birikmesine ve küresel ortalama sıcaklıklarda artışa yol açarak iklim değişikliği sorununu derinleştirmektedir (Mahabunphachai ve ark., 2010; Turan ve ark., 2011). Fosil yakıtların oluşturduğu bu sorunlardan dolayı araştırmacılar temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına ve çevrim sistemlerine yönelmişlerdir. Bu yönelim sonucunda kirletici salınımı yapmadan elektrik üretebilen hidrojen destekli yakıt hücreleri en ön plana çıkan araştırma konuları arasında yer almaktadır (Midilli ve ark., 2005; Momirlan ve Veziroglu, 2005; Satterthwaite, 2008; Nel ve Cooper, 2009). Yakıt hücreleri herhangi bir yanma meydana gelmeden, sadece kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği ve sonucunda yüksek güç, ısı ve suyun ortaya çıktığı oldukça verimli sistemlerdir (Sazali, 2020). Bu sistemlerin; güç santralleri, otomobiller, dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları gibi birçok uygulama sahası da mevcuttur (Singla ve ark., 2021).

Çeşitli yakıt hücresi türleri arasında, PDMYH, düşük çalışma sıcaklığı, hızlı başlama, hızlı tepki verme yeteneği ve yüksek performans gibi bazı önemli avantajlarından dolayı taşınabilir ve sabit uygulamalar için en popüler olanıdır (Chen ve ark., 2011). PDMYH yakıt olarak hidrojen kullandığından bu sisteme destek sağlayacak bir hidrojen üretim sistemine de ihtiyaç vardır. Bu amaçla da literatürde yaygın olarak, elektrik enerjisi ve su girdisi ile çalışan PEME kullanılmaktadır (Larminie, 2003; Kunusch ve ark., 2012). Literatürde bu iki birleşeni ayrı ayrı veya birlikte içeren birçok çalışma mevcuttur. Zuliani ve Taccani (Zuliani ve Taccani, 2012), doğal gaz kullanan 1 kW'lık yüksek sıcaklık PDM yakıt hücreli kojenerasyon sisteminin performansını değerlendirmişlerdir. Simülasyon modeli ve deneysel veriler, seçilen tasarım parametrelerinde, %26 elektrik ve %78 genel enerji verimliliği sağlamıştır. Çalışmada, yüksek sıcaklıklı PDMYH kojenerasyonunun içten yanmalı motorlara veya gaz türbinlerine kıyasla daha yüksek enerji verimliliğine sahip ve sürdürülebilir enerji alternatifleri açısından önemli olduğu kaydedilmiştir. Liu ve diğerleri, yeni bir PDMYH-ORÇ sistemi tasarımı ile PDMYH; giriş sıcaklığı, doyma basıncı, akım yoğunluğu, aşırı ısınma sıcaklığı ve ORÇ çalışma akışkanının sistemin performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, incelenen beş organik çalışma sıvısı arasında tasarlanan ORÇ sistemi için R245fa'nın en iyi performansı sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca, ekserji açısından değerlendirildiğinde, PDMYH'nin sistemindeki en büyük ekserji kaybına sahip olduğu ortaya çıkmıştır

(Liu ve ark., 2020). Razmi ve arkadaşları yeni enerji üretimi ve yeşil hidrojen üretimi için parabolik oluk toplayıcı, proton elektrolit membranlı elektrolizör ve PDMYH'nin entegrasyonunu incelemişlerdir. Sinir ağı ve gri kurt algoritmalarının birleşimiyle yapılan hassasiyet analizi ve çok amaçlı optimizasyon, güneş ünitesinin en uygun çalışma sıvısını ve ideal koşullarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucu, önerilen sistemin 9, 14.9 ve 20.1 MW güç üretme kapasitesine sahip olduğu ve optimal koşullarda %17.6 ekserji verimliliği ile 49.2 \$/saat maliyet oranına ulaştığı görülmüştür (Razmi ve ark., 2022). Taner, hidrojen yakıtlı bir PDM yakıt hücresinin farklı basınç, akış hızı ve voltaj değerlerinde enerji ve ekserji performansı araştırmıştır. Çalışmanın sonuçları, ekserji ve enerji verimliliğinin sırasıyla %50.4 ve %47.6 olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, optimizasyon sonuçları, daha düşük su üretiminin, daha düşük PEM yakıt hücresi ömrü ile birlikte daha yüksek ekserji verimliliğine yol açtığını göstermiştir (Taner, 2018). Nasser ve Hassan yapmış olduğu çalışmada, atık ısıdan hidrojen üretimi için proton elektrolit membranı elektrolizörü ve katı oksit elektrolizör hücresi (KOEH) entegre edilen iki farklı hibrit sistem incelenmiştir. Her iki sistem de aynı enerji girişiyle çalışmakta olup, çimento atık ısılarının farklı sıcaklıklarında işlem yapılmıştır. PEM sistemi için atık ısı, Rankine döngüsünü çalıştırmak için kullanılırken, KOEH sistemi için bir kısmı elektrolizöre buhar sağlamak için kullanılmıştır. Parametreler belirlendikten sonra, her iki sistemin performansı (verimlilik, hidrojen üretim hızı, ekonomik faktörler ve CO₂ azaltımı) karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, buharlı Rankine sisteminin daha yüksek performans gösterdiği, KOEH sisteminin ise PEM sistemine göre daha yüksek hidrojen üretim hızı ve verimliliği sağladığı göstermektedir. Entegre sistemlerin minimum hidrojen üretim maliyeti ve CO₂ azaltımı da değerlendirilmiştir, bu da yıllık 3077 ton CO₂ emisyonunun azaltılması anlamına gelmektedir (Nasser ve Hassan, 2023). Wang ve arkadaşları, enerji, ekserji, ekonomik ve ekserji-ekonomik açılarından incelenen yeni bir çoklu üretim sistemini önermişlerdir. Önerilen konfigürasyonda, atık ısı PDM yakıt hücreleri tarafından üretilirken, geri kazanılan ısı ORÇ ve bir sıvılaştırılmış doğal gaz (SDG) alt sistemi tarafından kullanılmıştır. Ayrıca, PDM yakıt hücreleri çıkış gücünü sağlarken, ORÇ ve SDG alt sistemi çıkış gücü ise trans-kritik CO₂ sıkıştırılmalı soğutma alt sistemi ve tuzdan arındırma ünitesine iletilmiştir. Hassasiyet analizi ile tasarım değişkenlerinin çıkış parametreleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve iki amaçlı optimizasyon sonuçları, ekserji verimliliği ve net bugünkü değer sırasıyla %22.67 ve 56.61 milyon dolar olduğu ortaya koyulmuştur. Önerilen sistem, optimum noktada 1214 kW güç, 1116 kW soğutma, 161.1 kW ısıtma ve 6 kg/s tatlı su sağlayabilmiştir (Wang ve ark., 2023). Sabbaghi ve arkadaşları, binalarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilikçi bir çoklu üretim sistemi önerilmektedir. Bu sistem, PEME ve PEMFC'yi entegre ederek güneş ve biyokütle enerjileri ile çalışan bir güç, ısıtma ve soğutma sistemi sunar. TCO₂ çevriminde üretilen enerji, PEME aracılığıyla hidrojen üretmek için kullanılır ve bu hidrojen daha sonra PEMFC'de elektrik üretmek için tüketilir. PEME'nin hidrojen üretimindeki etkinliği ve PEMFC'nin bu hidrojeni elektriğe dönüştürmedeki performansı, sistemin enerji verimliliğini ve çevresel sürdürülebilirliğini artıran anahtar bileşenler olarak vurgulanmaktadır. Sonuçlar, bu sistemin yüksek

enerji verimliliği sağladığını ve özellikle PEMFC'nin, ekserji yıkımı açısından en büyük etkilerden birine sahip olduğunu göstermektedir (Sabbaghi ve ark., 2024). Rahimi ve arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir hibrit enerji sistemi sunulmuştur ve bu sistem, hidrojen üretimi için optimize edilmiştir. PEME, sistemin hidrojen üretim kapasitesini artırmak için kilit rol oynamaktadır ve bu hidrojen daha sonra PEMFC aracılığıyla elektriğe dönüştürülmektedir. Termodinamik analizler, PEME ve PEMFC'nin entegrasyonunun sistem verimliliğini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Ayrıca, çevresel analizler, bu teknolojilerin çevresel ayak izini azaltmada etkili olduğunu ve ekonomik analizler, uzun vadeli maliyet etkinliğini ortaya koymaktadır (Rahimi-Esbo ve ark., 2024). Ayrıca, Bedakhanian ve arkadaşları, şebeke dışı uygulamalar için PEME ve PEMFC'nin entegrasyonu ile güneş enerjisi tabanlı bir enerji sistemi incelenmiştir. PEME, sistemin enerji depolama kapasitesini artırmak için hidrojen üretiminde kullanılırken, PEMFC bu hidrojeni sürekli bir elektrik kaynağı olarak kullanmaktadır. Analizler, bu teknolojilerin enerji verimliliği ve ekonomik fizibilite üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamakta ve özellikle off-grid (şebeke dışı) uygulamalarda enerji güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahip olduklarını göstermektedir (Bedakhanian ve Assareh, 2024).

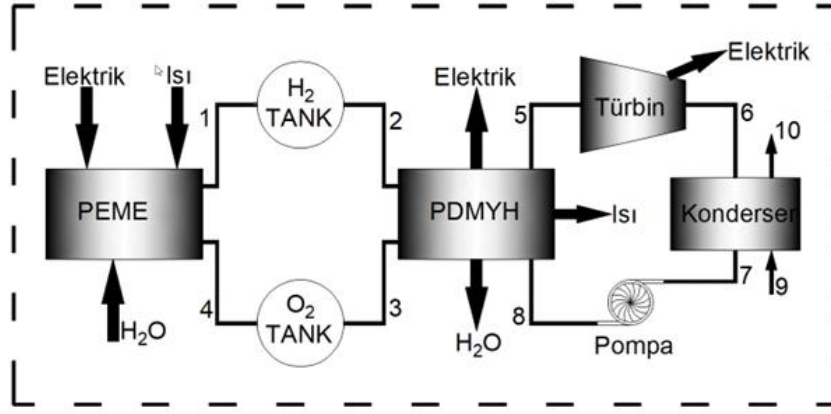
Literatür çalışmaları incelendiğinde PEME ile PDM'nin birlikte incelendiği ve bu sistemin atık ısı kaynaklı ORÇ çevriminden elektrik ürettiği çalışmalar mevcuttur. Ayrıca bu birleşenleri içinde barındıran çoklu üretim sistemleri de mevcuttur. Ancak PEME-PDM birleşimi özelinde ORÇ sisteminin elektriksel ve ekonomik katkılarını inceleyen çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır. Bu amaçla bu çalışmada PEME-PDM birleşimi, ORÇ'li ve ORÇ'siz olarak elektriksel ve ekonomik olarak kıyaslanmıştır. Bu makalede parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Parametre olarak şarj süresi, deşarj süresi, PEME hücre sayısı ve ORÇ evaporatör basıncı seçilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak PDMYH ve ORÇ'de elektrik üretimi, çevrim verimi ve ekonomik çıktılar incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında PEME, PDMYH ve ORÇ sistemi analiz edilmiştir. İlk olarak sistem tanıtımı yapılmaktadır.

2.1. Sistem Tanıtımı

Şekil 1'de PEME-PDMYH ve PEME-PDMYH-ORÇ sistemleri görülmektedir. Buna göre ilk olarak PEME-PDMYH sistemi incelendiğinde, PEME'ye ısı, elektrik ve H₂O girdisi sağlanır. Sonucunda H₂ ile O₂ elde edilir ve tankta depolanır. Bu sürecin tamamlanmasıyla sistemin şarj prosesi gerçekleşmiş olur. Sonrasında, elektrik ihtiyacı doğduğunda deşarj prosesi başlar. Depolanan H₂ ve O₂ kullanılarak PDMYH aracılığı ile elektrik üretimi gerçekleştirilir. Bu sırada ısı, elektrik ve H₂O açığa çıkar. Ayrıca çalışma kapsamında bu bileşenlere ORÇ eklenerek PDMYH'den elde edilen ısı ORÇ evaporatörüne bağlanılarak ek elektrik üretimi amaçlanmıştır.



Şekil 1. PEME-PDMYH VE ORÇ konfigürasyonu

3. Termodinamik Bağlımlar

Şekil 1’de görülen sistem üç ana bölüme ayrılmıştır. Bunlar; PEME, PDMYH ve ORÇ’ dir. İlk olarak PEME’ ye ait hesaplamalar aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

3.1. PEME Termodinamik Bağlımları

Elektrolizörler, H₂O’yu H₂ ve O₂ olarak ayıran cihazlardır.

Bu işlemin gerçekleşmesi için elektrolizöre H₂O, ısı ve elektrik enerjisi girişi sağlanması gerekmektedir. Bu prosesi anlatan kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki gibi olmaktadır (Marshall ve ark., 2007; Ni ve ark., 2008).



Bu reaksiyonlardan hareketle, PEME’ de üretilen toplam H₂ ve O₂ miktarının, ısı ve su girdisinin hesaplanabilmesi için toplam potansiyelin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Eşitlik 4 kullanılarak toplam potansiyel hesaplanmıştır (Marshall ve ark., 2007).

$$V_e = V_{o,e} + V_{akt,a} + V_{akt,k} + V_{ohm} \quad (4)$$

Eşitlik 4’te görülen $V_{o,e}$, tersinir potansiyel, $V_{akt,a}$, anot aktivasyonu, $V_{akt,k}$, katot aktivasyonu ve V_{ohm} ohmik potansiyeldir. İlk olarak $V_{o,e}$ Eşitlik 5’te görüldüğü gibi hesaplanmıştır (Alirahmi ve ark., 2020).

$$V_{o,e} = 1,229 - (8,5 \times 10^{-4} (T_{PEME} - 298)) \quad (5)$$

Eşitlik 5’te görülen T_{PEME} , PEME sıcaklığını ifade etmektedir. Aktivasyon potansiyeli ise anot ve katot olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Her iki bölüm içinde hesaplama Eşitlik 6’da görüldüğü gerçekleştirilmiştir (Alirahmi ve ark., 2020).

$$V_{akt} = \frac{R_u T_{PEME}}{F} \ln \left[\left(\frac{J}{2J_o} \right) + \sqrt{\left(\left(\frac{J}{2J_o} \right)^2 + 1 \right)} \right] \quad (6)$$

Eşitlikte görülen R_u , universal gaz sabitini, F , Faraday sabitini, J , akım yoğunluğu temsil etmektedir. Eşitlik 6’da görülen J_o değişken akım yoğunluğu ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$J_o = J^{ref} \exp \left(- \frac{E_{act}}{R_u T_{PEME}} \right) \quad (7)$$

Son olarak ohmik potansiyel aşağıda görülmektedir (Marshall ve ark., 2007; Ni ve ark., 2008).

$$V_{ohm} = J R_{PEME} \quad (8)$$

Eşitlik 8’de görülen R_{PEME} , PEME direnci ifadesi 80 °C deki PEME için $0,478 \times 10^{-5}$ olarak alınmıştır (Ni ve ark., 2008).

Bu hesaplamalar sonucunda elektrolizörde hidrojen üretimi için gerekli elektrik, H₂O miktarı ve buna bağlı olarak üretilen H₂ miktarı ve gerekli elektrik enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanır (Alirahmi ve ark., 2020).

$$\dot{N}_{H_2, s\tilde{t}k\tilde{i}\tilde{s}} = \frac{J}{2F} = \dot{N}_{H_2 O, g\tilde{i}r\tilde{i}\tilde{s}} \quad (9)$$

$$E_{el} = JxV \quad (10)$$

Tablo 1. PEME’ye ait sabit parametre değerleri (Razmi ve ark., 2022)

Parametre	Değer
Anot Aktivasyon Enerjisi ($E_{act,a}$), kJ/mol	76
Katot Aktivasyon Enerjisi ($E_{act,k}$), kJ/mol	18
Faraday Sabiti (F), C/mol	96846
Membran Kalınlığı (D), μ m	100
H ₂ ’nin kısmi basıncı (P_{H_2}), kPa	101,325
O ₂ ’nin kısmi basıncı (P_{H_2}), kPa	101,325
PEME sıcaklığı (T_{PEME}), °C	80
Anot için ön üstel faktör (J_a^{ref}), A/m ²	$1,7 \times 10^5$
Katot için ön üstel faktör (J_k^{ref}), A/m ²	$4,6 \times 10^3$
J, A/m ²	10000

3.2.PDMYH Termodinamik Bağıntıları

PDMYH, hidrojen ve oksijen kullanarak elektrik üreten cihazlardır. İşlem sonunda bir miktar ısı ve su açığa çıkar. Proses sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki gibidir (Azad ve ark., 2022).



Bu reaksiyonlar sırasında kullanılan H_2 , O_2 miktarı, üretilen H_2O ve ısı miktarının, son olarak elektrik üretim miktarının belirlenebilmesi için yakıt hücresi potansiyeli aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$V_{FC} = E_{Nernst} - V_{akt} - V_{kon} - V_{ohm} \quad (14)$$

Eşitlikte görülen E_{Nernst} , maksimum Nernst voltajını, V_{akt} , aktivasyon kayıplarını, V_{kon} konsantrasyon kayıplarını ve V_{ohm} , ohmik kayıpları göstermektedir. İlk olarak E_{Nernst} ifadesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Saeed ve Warkozek, 2015).

$$E_{Nernst} = 1,229 - (0,85 \times 10^{-3} (T_{YH} - 298,15)) + \left(\frac{R_u T_{YH}}{NF} \left(\ln \frac{P_{O_2}^{0,5} P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right) \right) \quad (15)$$

Eşitlikte görülen T_{YH} , yakıt hücresi sıcaklığını, R_u , universal gaz sabitini, N , yakıt hücresi sayısını, F , Faraday sabitini, P_{O_2} , oksijen kısmi basıncını, P_{H_2} , hidrojen kısmi basıncını, P_{H_2O} suyun kısmi basıncını göstermektedir. PDMYH'de meydana gelen aktivasyon kayıpları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Sarma ve Ganguly, 2018; Keshavarzzadeh ve ark., 2019).

$$V_{akt} = 0,948 - \xi - (0,000076 T_{YH} \ln(C_{O_2})) + (0,000193 T_{YH} \ln(I_{YH})) \quad (16)$$

Eşitlikte görülen C_{O_2} oksijen konsantrasyonunu ve I_{YH} yakıt hücresi akım yoğunluğunu göstermektedir. Eşitlik 16'da görülen ξ ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Sarma ve Ganguly, 2018; Keshavarzzadeh ve ark., 2019).

$$\xi = 4,38386 + 0,0002 \ln(A_{YH}) - 5 \ln(C_{H_2}) \quad (17)$$

Eşitlik 17'de görülen A_{YH} , yakıt hücresi alanını, C_{H_2} , hidrojen konsantrasyonunu göstermektedir. Eşitlik 16 ve 17'de görülen I_{YH} , C_{O_2} ve C_{H_2} ifadeleri ise Eşitlik 18,19 ve 20'de görülmektedir (Sarma ve Ganguly, 2018; Keshavarzzadeh ve ark., 2019).

$$I_{FC} = iA_{FC} \quad (18)$$

$$C_{O_2} = \frac{P_{O_2}}{5,08 \times 10^6 \exp\left(\frac{-498}{T_{YH}}\right)} \quad (19)$$

$$C_{H_2} = 9,174 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{77}{T_{YH}}\right) \quad (20)$$

Eşitlik 19' da görülen P_{O_2} , oksijenin kısmi basıncını göstermektedir. Eşitlik 21'de konsantrasyon kayıpları görülmektedir (Chitsaz ve ark., 2019).

$$V_{kon} = \frac{R_u T_{YH}}{nF} \exp\left(-\frac{i_l}{i_l - i}\right) \quad (21)$$

Eşitlik 21'de görülen i_l maksimum akım yoğunluğunu göstermektedir. Son olarak ohmik kayıplar aşağıdaki gibi hesaplanır (Zhao ve ark., 2012; Baniasadi ve ark., 2017).

$$V_{ohm} = I_{YH}(R_m + R_c) \quad (22)$$

Eşitlik 22'de görülen R_c ve R_m sırasıyla sabit ve iç hücre direncini göstermektedir. R_m ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$R_m = \frac{\rho_m l_m}{A_{YH}} \quad (23)$$

Eşitlikte görülen l_m , membran kalınlığıdır. ρ_m , hidratlanmış protonların akışına karşı membrana özgü dirençtir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\rho_m = \frac{181,6 \left(1 + 0,03 \left(\frac{i_{YH}}{A_{YH}} \right) + \left(0,062 \left(\frac{T_{YH}}{303} \right)^2 \left(\frac{i_{YH}}{A_{FC}} \right)^{2,5} \right) \right)}{\left(\psi - 0,6343 - \frac{3i_{YH}}{A_{YH}} \right) \exp\left(\frac{4,18(T_{YH}-303)}{T_{YH}}\right)} \quad (24)$$

Eşitlik 24'te görülen ψ ampirik bir sabittir. Yakıt hücresinden elde edilen elektrik çıktısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$W_{YH} = N_{hüc} V_{FC} I \quad (25)$$

Eşitlik 25'te görülen $N_{hüc}$, PDM hücre sayısını göstermektedir. Ayrıca süreçte kullanılan hidrojen, azot ve oksijen miktarları ve süreç sonunda ortaya çıkan su miktarları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Chitsaz ve ark., 2019).

$$\dot{n}_{H_2,gir} = \frac{Z_z}{U_F} \quad (26)$$

$$\dot{n}_{H_2,çık} = \dot{n}_{H_2,gir} - Z_z \quad (27)$$

$$\dot{n}_{H_2,kul} = \dot{n}_{H_2,gir} - \dot{n}_{H_2,çık} \quad (28)$$

$$\dot{n}_{O_2,gir} = \frac{Z_z}{2U_o} \quad (29)$$

$$\dot{n}_{O_2,out} = \dot{n}_{O_2,in} - \frac{Z_z}{2} \quad (30)$$

$$\dot{n}_{N_2,in} = \dot{n}_{O_2,out} = \frac{79}{21} \dot{n}_{O_2,in} \quad (31)$$

$$Z = \frac{N_{hüc} i_{AFC}}{2F} \quad (32)$$

$$\dot{n}_{H_2O,üretilen} = N_{hüc} \frac{I}{2F} \quad (33)$$

Eşitliklerde görülen Z_z PDMYH'nin molar dönüşüm oranını, U_F ve U_o sırasıyla yakıt ve kullanım oranıdır. Yakıt hücresinde oluşan kimyasal reaksiyon sonucunda bir miktar ısıda açığa çıkmaktadır. Oluşan ısının belirlenebilmesi için Eşitlik 34'te görülen enerji korunum denklemi kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_{ch} - W_{YH} - \dot{Q}_{sl} \quad (34)$$

Eşitlik 34'te görülen \dot{Q}_{ch} , kimyasal enerji üretimi, \dot{Q}_{sl} , gizli enerjiyi ve W_{YH} yakıt hücresinden elde edilen elektriksel gücü ifade etmektedir. Eşitlikte görülen \dot{Q}_{ch} ve \dot{Q}_{sl} ifadeleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{n}_{H_2,kul} x HHV \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{sl} = & C p_{H_2} (\dot{n}_{H_2,çık} T_{YH} - \dot{n}_{H_2,gir} T_o) + C p_{O_2} (\dot{n}_{O_2,çık} T_{YH} - \dot{n}_{O_2,gir} T_o) \\ & + C p_{N_2} (\dot{n}_{N_2,çık} T_{YH} - \dot{n}_{N_2,gir} T_o) + C p_{H_2O} \dot{n}_{H_2O,çık} (T_{YH} - T_o) \\ & + \dot{n}_{H_2O,ür} H_v \end{aligned} \quad (36)$$

Tablo 2. PDMYH'ye ait sabit parametre değerleri (Razmi ve ark., 2022)

Parametre	Değer
Sabit Direnç değeri (R_c), Ω	0,0003
Ampirik sabit (ψ)	22
Suyun Buharlaşma ısısı (H_v), J/mol	40644
Yakıt Kullanım Faktörü (U_f)	0,85
H_2 'nin üst ısı değeri (HHV_{H_2}), kJ/mol	285,55
Limitli akım yoğunluğu (I_{FC}), A/cm ²	1,5
Membran kalınlığı (l_m), cm	0,0178
Elektron sayısı (n)	2
PDMFC çalışma sıcaklığı (T_{YH}), °C	85
PDMFC yüzey alanı (A_{PEMYH}), cm ²	232
H_2 özgül ısısı ($C p_{H_2}$), J/mol°C	28,86
N_2 özgül ısısı ($C p_{H_2}$), J/mol°C	28,39
O_2 özgül ısısı ($C p_{H_2}$), J/mol°C	29,72
H_2O özgül ısısı ($C p_{H_2}$), J/mol°C	75,95
Universal Gaz Sabiti (R_u), kJ/kmol	8,314

Eşitliklerde görülen $Cp_{H_2}, Cp_{O_2}, Cp_{N_2}$ ve Cp_{H_2O} sırasıyla oksijen, hidrojen, su ve nitrojenin spesifik ısı kapasitesini ve h_v , suyun buharlaşma ısısını gösterir. Yakıt hücresi verimi Eşitlik 37’de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$n_{YH} = \frac{W_{FC}}{\dot{n}_{H_2, kul} \times HHV} \quad (37)$$

3.3. ORÇ Termodinamik Bağlılıkları

Bu bölümde PDMYH’den elde edilen ısı kaynaklı ORÇ’den elde edilen elektrik miktarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bilindiği üzere bir Rankine çevrimi evaporatör, kondenser, türbin ve pompa bileşenlerinden oluşmaktadır. Tablo 3’te her bir bileşene ait termodinamik bağıntılar görülmektedir.

Tablo 3. ORÇ’ ye ait bileşenlerin enerji eşitlikleri (Kurşun ve Ökten, 2019)

Birleşen	Enerji Eşitlikleri	
EVA(PDMFC)	$\dot{Q}_{net} = \dot{m}_{ORÇ}(h_8 - h_5)$	(38)
Türbin	$\dot{W}_T = \dot{m}_{ORÇ}(h_6 - h_5)$	(39)
Kondenser	$\dot{m}_{ORÇ}(h_6 - h_7) = \dot{m}_w(h_{10} - h_9)$	(40)
Pompa	$\dot{W}_p = \dot{m}_{ORÇ}(h_8 - h_7)$	(41)

Çalışmada ORÇ iş akışkanı olarak çevreye olan zararlı etkilerinin düşük olması ve yüksek performans sağlaması sebepleri ile R1233zd kullanılmıştır (Hassan ve ark., 2020). ORÇ çevriminde kullanılan sabit ifadeler aşağıdaki tabloda görülmektedir. Burada hesaplamalar yapılırken PDMYH’den elde edilen ısı kaynağı 80 °C olduğundan ve sıcaklık farkımız 5 °C olduğundan Şekil 1’de görülen T_5 sıcaklığı 75 °C olarak elde edilmiş ve Tablo 4’te görüldüğü gibi T_8 sıcaklığı 40 °C olarak seçildiğinden ORÇ çevrimi kütleli debisi Eşitlik 38’den kolaylıkla belirlenebilmektedir. Parametrelere bağlı olarak PDMYH den elde edilen ısı miktarı değişeceğinden ORÇ kütleli debisi değişiklik göstermektedir.

Tablo 4. ORÇ’ ye ait sabit değerler (Kurşun ve Ökten, 2019)

Parametre	Değer
Türbin verimi (η_T)	0,85
Pompa verimi (η_p)	0,7
Jeneratör verimi (η_j)	0,98
EVA ve KON minimum sıcaklık farkı (°C)	5
T_8 (°C)	40
T_9 (°C)(su)	20

PEME, PDMFC ve ORÇ termodinamik bağıntıları yukarıda incelenmiştir. Performans kriteri olarak incelenen çevrim verimi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Hem ORÇ'li hem ORÇ'siz sistemler için çevrim verimleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\eta_{\text{çv,ORÇsiz}} = \frac{W_{PEMYH}}{W_{PEME}} \quad (42)$$

$$\eta_{\text{çv,ORÇli}} = \frac{W_{PEMYH} + W_T}{W_{PEME}} \quad (43)$$

3.4. Ekonomik Model

Ekonomik modelin oluşturulmasında elektrik üretim sistemleri için ekonomik analiz göstergesi olarak yaygın kullanılan seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (SEM) kullanılmıştır. SEM aşağıda verilen denklem ile bulunmuştur (Ayou ve Evely, 2020).

$$SEM = \frac{M_{top} + \sum_{i=1}^{i_0} \frac{M_{yillik}}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^{i_0} \frac{M_{net,yillik}}{(1+r)^i}} \quad (44)$$

Denklemden M_{top} sistem bileşenlerinin toplam yatırım maliyetini, M_{yillik} yıllık maliyetleri, $\dot{W}_{net,yillik}$ yıllık üretilen hidrojen miktarını, i_0 işletme ömrünü ve r faiz oranını ifade etmektedir. İşletme ömrü 30 yıl ve faiz oranı %5 olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Yıllık maliyetler ise Eşitlik 45 ile hesaplanmıştır.

$$M_{yillik} = M_{BO} + (BF_{elektrik} \cdot \dot{W}_{PEM,yillik}) \quad (45)$$

Burada M_{BO} yıllık bakım onarım maliyetidir ve toplam maliyetin %1.5'i olarak alınmıştır. $BF_{elektrik}$ elektriğin birim fiyatıdır ve 0.05 \$/kWh alınmıştır. $\dot{W}_{PEM,yillik}$ ise PEM'e yıllık verilen toplam elektrik enerjisidir. Sistem bileşenlerinin toplam yatırım maliyetlerinin bulunmasında Tablo 5'de verilen maliyet fonksiyonlarından faydalanılmıştır.

Tablo 5. Sistem Bileşenlerinin Maliyet Fonksiyonları

Bileşen	Maliyet Fonksiyonları (M)*	Referans Yılı	Referans
Pompa	$1120(\dot{W}_{pompa})^{0,8}$	2005	(Ayou ve Evely, 2020)
Isı Değiştiricileri (ID)	$2143A_{ID}^{0,514}$	1986	(Ayou ve Evely, 2020)
Elektrik Jeneratörü	$10^7(\dot{W}_j/1,6 \times 10^5)^{0,7}$	1998	(Ayou ve Evely, 2020)
Türbin	$4405(\dot{W}_{türbin})^{0,8}$	2005	(Ayou ve Evely, 2020)
H ₂ ve O ₂ Tankları	$575\$/kg(H_2 \text{ yada } O_2)$	2015	(Razmi ve ark., 2022)
PEME	$1000\$/kW$	2009	(Razmi ve ark., 2022)
PDMYH	$2500\$/kW$	2009	(Razmi ve ark., 2022)

* \dot{W} (kW) ve A (m²)

Tablo 5’de görüldüğü gibi sistem bileşenlerinin maliyetleri farklı yıllar için geçerlidir. SEM’in hesaplanmasında tüm maliyet fonksiyonlarının aynı yıl için değerlendirilmesi ekonomik modelin daha gerçekçi sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Bu nedenle SEM hesaplanırken sistem bileşenlerinin maliyetleri $CEPCI_{2021}$ indikatörü kullanılarak 2021 yılı maliyetlerine uyarlanmıştır. $CEPCI_{2021}$ baz alınarak maliyetlerin uyarlanmasında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir (Ayou ve Evely, 2020).

$$M_{bileşen} = M_{ref.yılı} (CEPCI_{2021} / CEPCI_{ref.yılı}); M_{top} = \sum M_{bileşen} \quad (46)$$

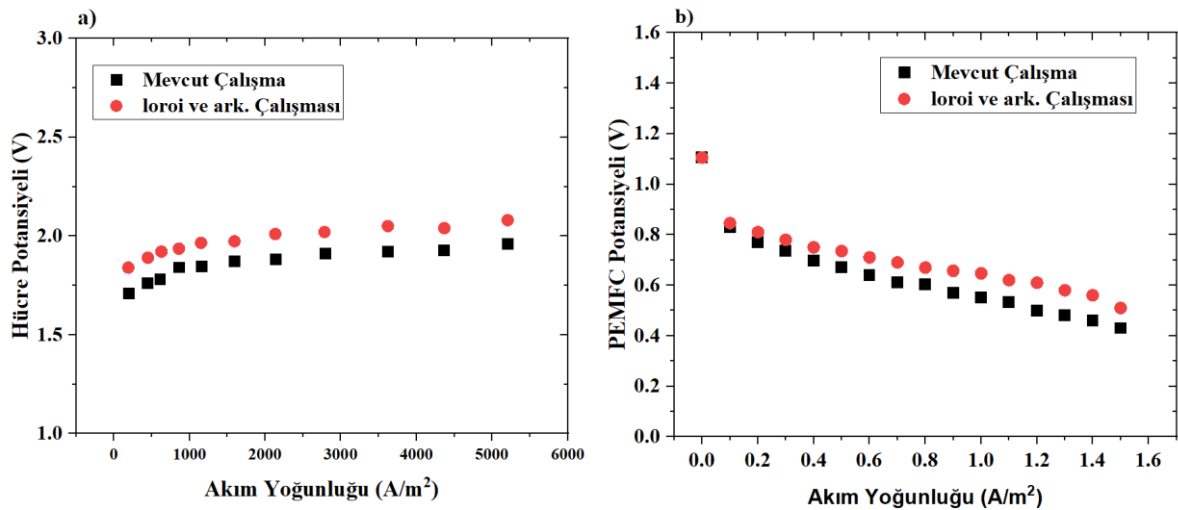
Burada $M_{ref.yılı}$ her bir bileşenin Tablo 5’de verilen referans yıla göre maliyetini ve $CEPCI_{ref.yılı}$ ise Tablo 5’de verilen referans yılları için geçerli CEPCI değerlerini ifade etmektedir.

4. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde matematiksel model ile elde edilen sonuçların PEME, PDMFC ve ORÇ için doğrulaması gerçekleştirilmiş ve sonrasında sistem çıktıları detaylı olarak incelenmiştir. Öncelikli olarak sistemlerin ayrı ayrı doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

4.1. Sistem Doğrulaması

Bu bölümde ilk olarak Şekil 2’de görüldüğü gibi PEME ve PDMFC için kullanılan teorik model ile literatürde yapılan çalışma karşılaştırılmıştır. Doğrulama için Ioroi ve ark. yapmış olduğu deneysel çalışma kullanılmıştır (Ioroi ve ark., 2002). Kıyaslama sonuçları incelendiğinde PEME için ortalama %6, PDMFC için ortalama %10 sapmalar olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar teorik modellerin parametrik çalışma için kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. PEME-PDMFC için Teorik Model ve Literatür Çalışması Kıyaslanması

İkinci olarak Tablo 6’da R245fa iş akışkanı için oluşturulan teorik ORÇ modeli ile literatür çalışmasından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Kosmadakis ve ark., 2011). Tablo incelendiğinde

simülasyon ve literatürden elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle ORÇ modelinin de parametrik çalışmalarda kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

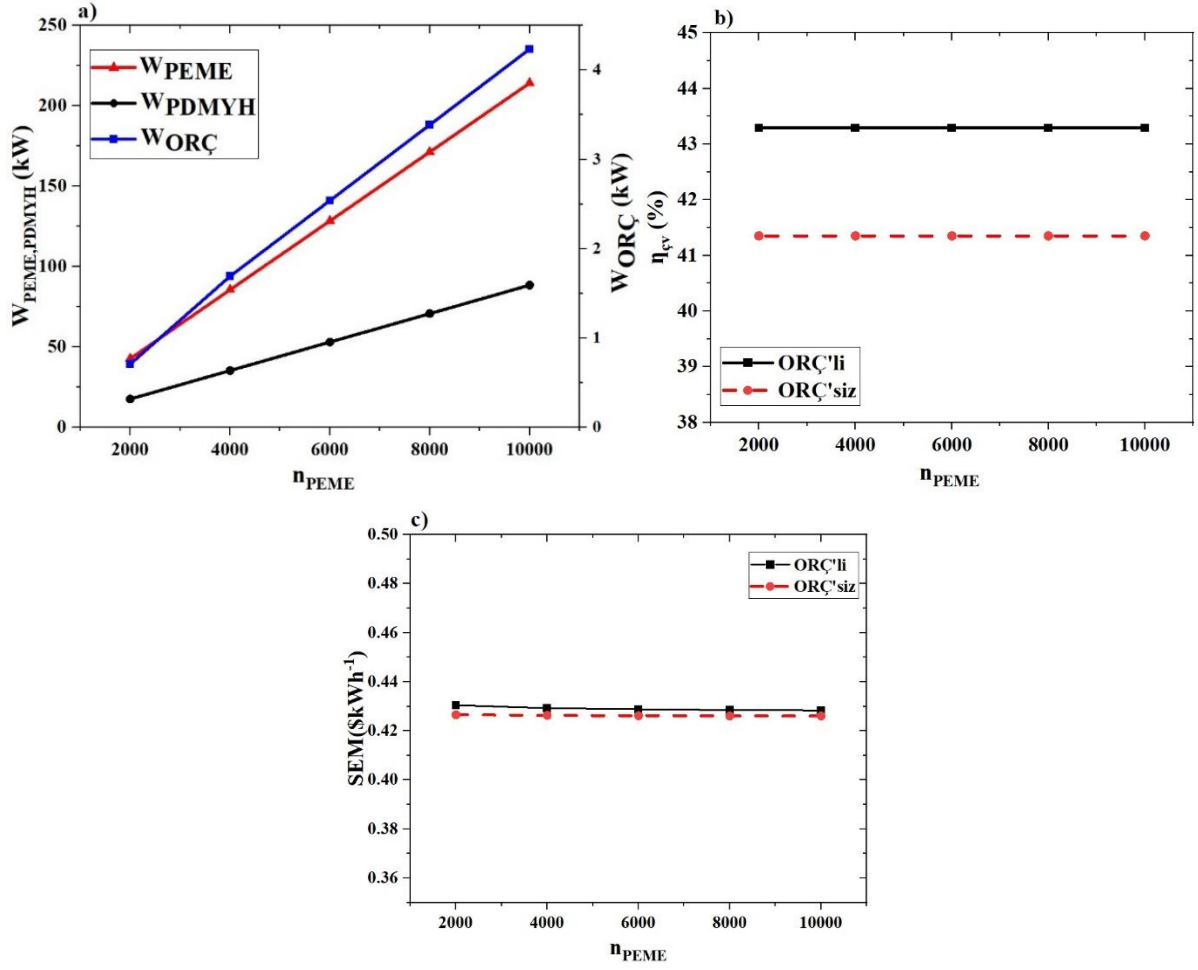
Tablo 6. ORÇ için teorik model ve literatür çalışması kıyaslanması

No	Faz	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Entalpi (kJ/kg)		Entropi (kJ/kgK)	
				Simülasyon	Ref.(Kosmadakis ve ark., 2011)	Simülasyon	Ref.(Kosmadakis ve ark., 2011)
5	Doymuş Buhar	90	10,044	468,2	470,48	1,135	1,1372
6	Kızgın Buhar	49	1,7904	444,8	444,501	1,812	1,8137
7	Doymuş Sıvı	30	1,7904	239,1	239,6	1,135	1,1372
8	Sıkıştırılmış sıvı	30,4	10,044	239,9	239,6	1,135	1,1372

4.2. Parametrik Analiz

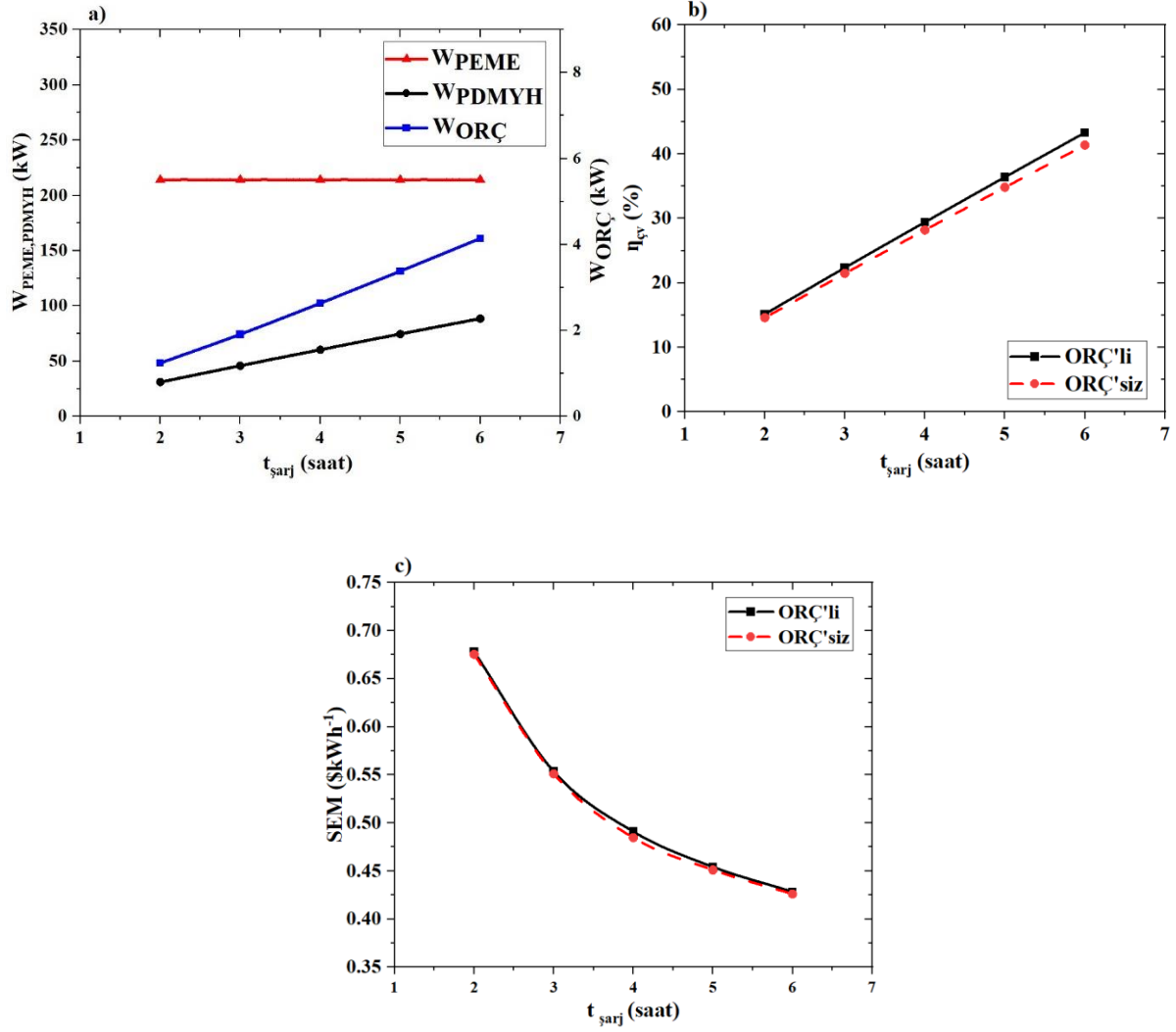
Bu bölümde PEME/PDMYH ve PEME/PDMYH/ORÇ sistemlerinin çıktıları kıyaslamalı olarak incelenmiştir. İnceleme için gerçekleştirilen parametrik çalışmada PEME hücre sayısı, şarj, deşarj süresi ve ORÇ'nin evaporatör basıncı değerleri değişken olarak kabul edilmiş ve çalışma çıktısı olarak ise PEME elektrik tüketimi, PDMYH ve ORÇ'nin elektrik üretimi, çevrim verimi ve seviyelendirilmiş elektrik maliyeti ifadeleri kullanılmıştır. Aşağıda gerçekleştirilecek olan incelemede üç farklı tür grafik kullanılmıştır. a, olarak sınıflandırılan bölümde PEME' de tüketilen elektrik miktarı, PDMYH ve ORÇ' de üretilen elektrik miktarı görülmektedir. b, olarak sınıflandırılan ORÇ'li ve ORÇ'siz sistemlerin çevrim verimleri ve son olarak c, olarak sınıflandırılan bölümde ORÇ'li ve ORÇ'siz sistemlerin seviyelendirilmiş elektrik maliyeti incelenmiştir. İlk bölümde görülen ORÇ'den elde edilen elektriğin sadece ORÇ'li sistemler için geçerli olduğu unutulmamalıdır.

Şekil 3'te PEME hücre sayısına bağlı olarak sistem çıktılarındaki değişimler görülmektedir. Şekil 3a incelendiğinde PEME hücresi sayısının artışının, PEME' de tüketilen, PDMYH ve ORÇ'de üretilen elektrik miktarını lineer olarak artırdığı görülmektedir. PDMYH ve ORÇ'den elde edilen elektrik miktarı karşılaştırıldığında ORÇ'den elde edilen elektriğin PDMYH' den elde edilen elektriğin ortalama %6'sı kadar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sisteme ORÇ entegre etmenin çevrim verimini %2 seviyelerinde artırmış olduğu saptanan bir diğer durumdur. Seviyelendirilmiş elektrik maliyetine (SEM) bakıldığında ise ORÇ'li ve ve ORÇ 'siz sistemlerin birbirine çok yakın değerler aldığı görülmektedir.



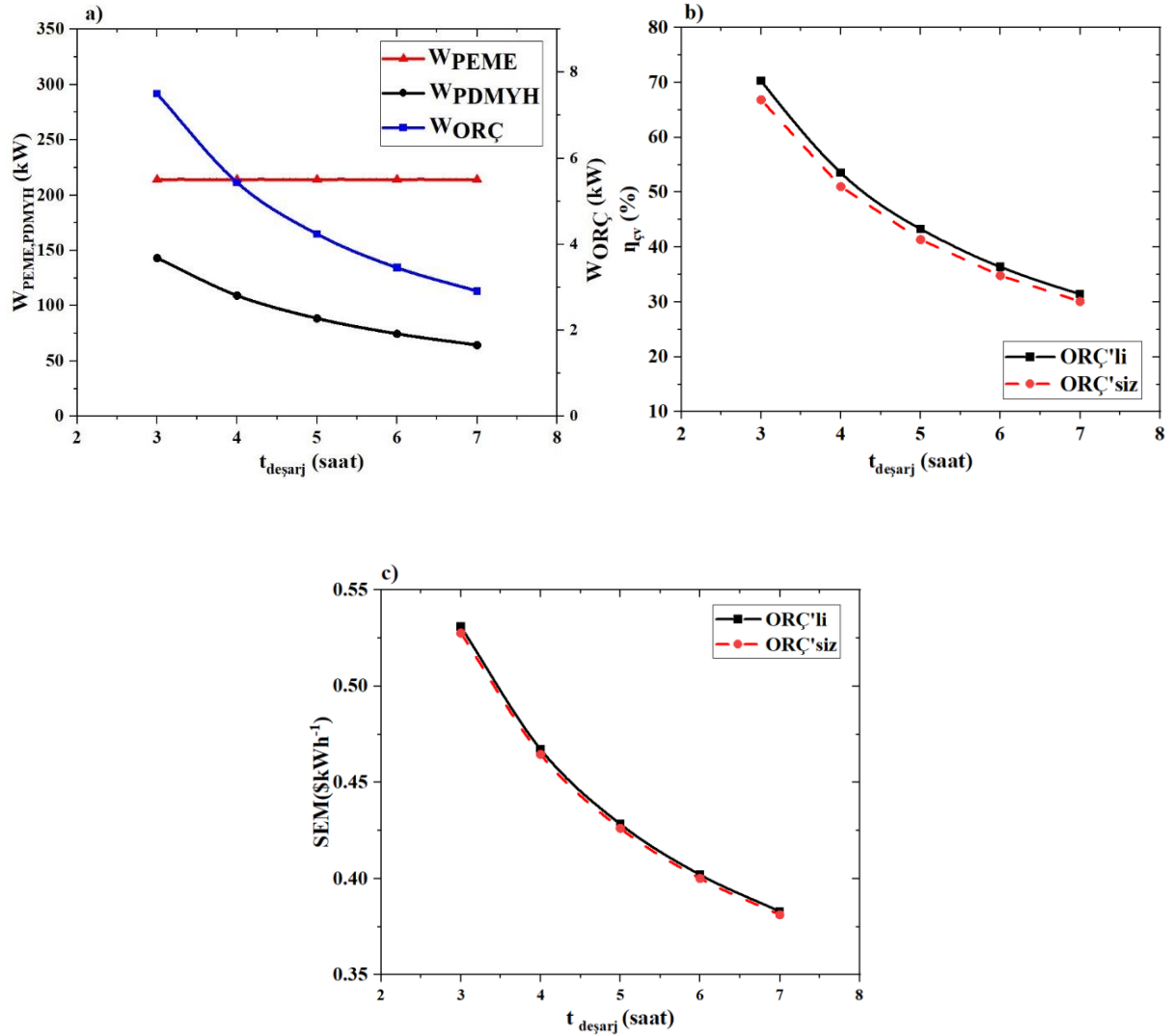
Şekil 3. PEME hücre sayısına Bağlı a) W_{PEME} , W_{PDMYH} , $W_{ORÇ}$ b) η_{cv} c) SEM Değerleri

Şekil 4 ve Şekil 5'te şarj ve deşarj süresine bağlı olarak sistem çıktıları görülmektedir. Her iki parametre değişimi de yalnızca PDMYH akım yoğunluğunu değiştireceğinden, bu durum sadece PDMYH ve ORÇ sistemleri çıktıları üzerinde etkili olmuştur. Öncelikle Şekil 4'te şarj süresine bağlı olarak sistem çıktıları görülmektedir. Buna göre şarj süresinin 2 saatten 6 saate artmasıyla PDMYH ve ORÇ' den elde edilen elektrik üretimi yaklaşık 2 kat artmıştır. Çevrim verimine bakıldığında ise ORÇ'li ve ORÇ'siz sistemleri arasındaki ortalama farkın %1 olduğu görülmüştür. Ayrıca bu iki sistemin SEM değerleri arasında önemli bir fark olmadığı da saptanan bir diğer durumdur.



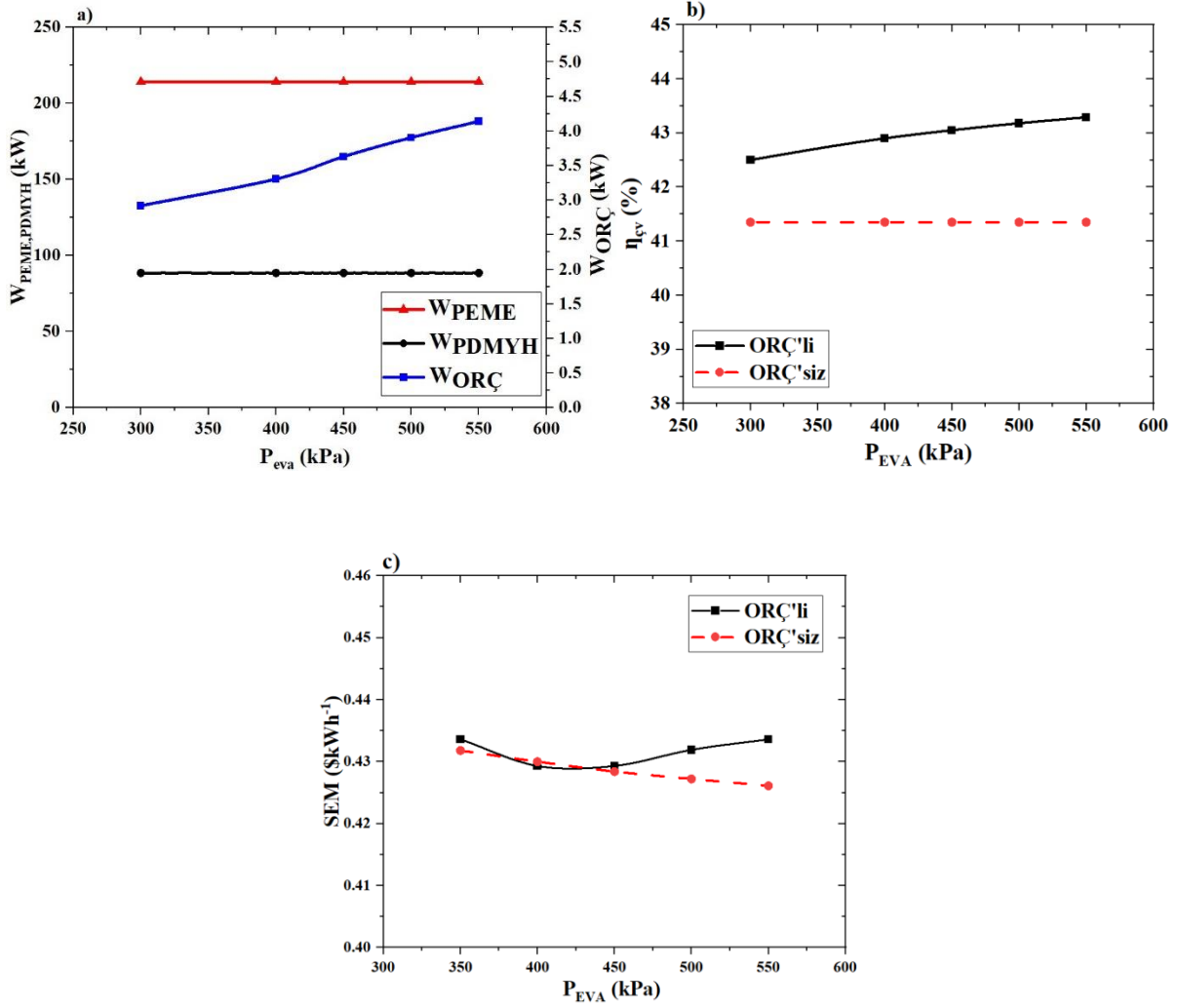
Şekil 4. $t_{\text{şarj}}$ Süresine Bağlı a) W_{PEME} , W_{PDMYH} , $W_{\text{ORÇ}}$ b) $\eta_{\text{şarj}}$ c) SEM Değerleri

Şekil 5' te deşarj süresine bağlı sistem çıktıları görülmektedir. Şarj süresinin aksine, deşarj süresi artışı, elektrik üretimini ve çevrim verimini düşürmüştür. Buna göre deşarj süresinin artması ile PDMYH'de üretilen elektrik yaklaşık yarıya düşerken, ORÇ'de üretilen elektrik 3 kat azalmıştır. Çevrim verimine bakıldığında ise ORÇ' li sistemin verimi ortalama %2 artırdığı belirlenmiştir. Diğer parametrelere paralel olarak, SEM değerleri incelendiğinde hem ORÇ'li hem ORÇ'siz sistemlerde benzer değerler elde edilmiştir.



Şekil 5. $t_{deşarj}$ Süresine Bağlı a) W_{PEME} , W_{PDMYH} , $W_{ORÇ}$ b) η_{gv} c) SEM Değerleri

Son olarak Şekil 6'da evaporatör basıncına bağlı olarak sonuçlar görülmektedir. Evaporatör basıncındaki değişim yalnızca ORÇ'nin elektrik üretimini değiştirdiğinden diğer sonuçlarda değişiklik görülmemiştir. Şekil 6a incelendiğinde evaporatör basıncının artışı ile ORÇ'den elde edilen elektrik P_{eva} 'nın maksimum ve minimum değerleri arasında, 1,7 kat artış göstermiştir. Buna bağlı olarak çevrim verimi de ORÇ kullanımı ile % 2-2,5 aralığında artmıştır. SEM değerinde ise her iki sistem 450 kPa evaporatör verimine kadar benzer değerler alırken, 450 kPa değerinden sonra ORÇ li sistem 0,07-0,12 $\$/kWh$ aralığında artış göstermiştir.



Şekil 6. P_{EVA} Süresine Bağlı a) W_{PEME} , W_{PDMYH} , $W_{ORÇ}$ b) η_{ev} c) SEM Değerleri

5.Sonuçlar

Bu çalışmada temiz enerji olan hidrojen ile elektrik üretimi prosesi çıktıları ve ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu inceleme için PEME ve PDMYH bileşenleri kullanılmıştır. Ek olarak bu elektrik üretim sistemine, PDMYH'den elde edilen ısıyı kullanan bir ORÇ eklenerek sistem çıktıları incelenmiştir. Bu değerlendirme için sistem çıktıları olarak W_{PEME} , W_{PDMYH} , $W_{ORÇ}$, η_{ev} ve SEM değerleri seçilmiştir. Bu parametreler ışığında elde edilen en önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Oluşturulan teorik model doğrulanarak, bu modelin PEME-PDMYH-ORÇ için kullanılabilirliği ortaya konmuştur.
- Bu çalışmada kullanılan parametreler arasında en etken olanın PEME hücre sayısı olduğu ortaya çıkmıştır. Buna göre PDMYH ve ORÇ de üretilen elektrik üretimi yaklaşık 3 kat artarken, elektrolizördeki hidrojen üretimi yaklaşık 4 kat artmıştır.
- ORÇ kullanımı ile çevrim veriminde yaklaşık olarak %1-2,5 oranında artış görülmüştür.

- SEM değerlerine bakıldığında ise parametre değişimine bağlı ORÇ'li ve ORÇ'siz sistemlerde birbirine çok yakın sonuçlar elde edildiği anlaşılmıştır. Bu durum her ne kadar ORÇ kullanımının, maliyeti önemli ölçüde düşürmediğini gösterse de toplam elektrik üretimini artırması sebebiyle önemli katkı sağlamıştır.

Kaynaklar

- Alirahmi SM., Rostami M., Farajollahi AH. Multi-criteria design optimization and thermodynamic analysis of a novel multi-generation energy system for hydrogen, cooling, heating, power, and freshwater. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(30): 15047-15062.
- Ayou DS., Eveloy V. Energy, exergy and exergoeconomic analysis of an ultra low-grade heat-driven ammonia-water combined absorption power-cooling cycle for district space cooling, sub-zero refrigeration, power and LNG regasification. *Energy Conversion and Management* 2020; 213(112790): 1-25.
- Azad A., Fakhari I., Ahmadi P., Javani N. Analysis and optimization of a fuel cell integrated with series two-stage organic Rankine cycle with zeotropic mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022; 47(5): 3449-3472.
- Baniasadi E., Toghyani S., Afshari E. Exergetic and exergoeconomic evaluation of a trigeneration system based on natural gas-PEM fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy* 2017; 42(8): 5327-5339.
- Bedakhanian A., Assareh E. Exploring an innovative approach to hydrogen generation for fuel cell energy production by integrating a dual organic Rankine system with an absorption chiller powered by geothermal energy. *Energy Nexus* 2024;13(100267): 1-19.
- Chen X., Chen L., Guo J., Chen J. An available method exploiting the waste heat in a proton exchange membrane fuel cell system. *International Journal of Hydrogen Energy* 2011; 36(10): 6099-6104.
- Chitsaz A., Haghghi MA., Hosseinpour J. Thermodynamic and exergoeconomic analyses of a proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) system and the feasibility evaluation of integrating with a proton exchange membrane electrolyzer (PEME). *Energy Conversion and Management* 2019; 186: 487-499.
- Hassan AH., O'Donoghue L., Sánchez-Canales V., Corberán JM., Payá J., Jockenhöfer H. Thermodynamic analysis of high-temperature pumped thermal energy storage systems: Refrigerant selection, performance and limitations. *Energy Reports* 2020; 6: 147-159.
- Ioroi T., Yasuda K., Siroma Z., Fujiwara N., Miyazaki Y. Thin film electrocatalyst layer for unitized regenerative polymer electrolyte fuel cells. *Journal of Power Sources* 2002; 112(2): 583-587.
- Keshavarzadeh AH., Ahmadi P., Safaei MR. Assessment and optimization of an integrated energy system with electrolysis and fuel cells for electricity, cooling and hydrogen production using

- various optimization techniques. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44(39): 21379-21396.
- Kosmadakis G., Manolakos D., Papadakis G. Simulation and economic analysis of a CPV/thermal system coupled with an organic Rankine cycle for increased power generation. *Solar Energy* 2011; 85(2): 308-324.
- Kunusch C., Puleston P., Mayosky M. Sliding-mode control of PEM fuel cells. Springer Science ve Business Media 2012.
- Kurşun B., Ökten K. Thermodynamic analysis of a Rankine cycle coupled with a concentrated photovoltaic thermal system for hydrogen production by a proton exchange membrane electrolyzer plant. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44(41): 22863-22875.
- Larminie J., Dicks A. Fuel cell systems explained. John Wiley 2003; 3: 61-69.
- Liu G., Qin Y., Wang J., Liu C., Yin Y., Zhao J., Yin Y., Zhang J., Otoo ON. Thermodynamic modeling and analysis of a novel PEMFC-ORC combined power system. *Energy Conversion and Management* 2020; 217(112998): 1-25.
- Mahabunphachai S., Cora ÖN., Koç M. Effect of manufacturing processes on formability and surface topography of proton exchange membrane fuel cell metallic bipolar plates. *Journal of Power Sources* 2010; 195(16): 5269-5277.
- Marshall A., Børresen B., Hagen G., Tsypkin M., Tunold R. Hydrogen production by advanced proton exchange membrane (PEM) water electrolyzers-Reduced energy consumption by improved electrocatalysis. *Energy* 2007; 32(4): 431-436.
- Midilli A., Ay M., Dincer I., Rosen MA. On hydrogen and hydrogen energy strategies: I: current status and needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2005; 9(3): 255-271.
- Momirlan M., Veziroglu TN. The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet. *International Journal of Hydrogen Energy* 2005; 30(7): 795-802.
- Nasser M., Hassan H. Assessment of hydrogen production from waste heat using hybrid systems of Rankine cycle with proton exchange membrane/solid oxide electrolyzer. *International Journal of Hydrogen Energy* 2023; 48(20): 7135-7153.
- Nel WP., Cooper CJ. Implications of fossil fuel constraints on economic growth and global warming. *Energy Policy* 2009; 37(1): 166-180.
- Ni M., Leung MK., Leung DY. Energy and exergy analysis of hydrogen production by a proton exchange membrane (PEM) electrolyzer plant. *Energy Conversion and Management* 2008; 49(10): 2748-2756.
- Ozen DN., Timurkutluk B., Altinisik K. Effects of operation temperature and reactant gas humidity levels on performance of PEM fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 59: 1298-1306.

- Rahimi-Esbo M., Firouzjaee MR., Farahabadi HB., Alizadeh E. Performance investigation of a standalone renewable energy system using response surface methodology (RSM): 4E analysis and multi-objective optimization. *Energy Conversion and Management* 2024; 299(117752): 1-15.
- Razmi AR., Alirahmi SM., Nabat MH., Assareh E., Shahbakhti M. A green hydrogen energy storage concept based on parabolic trough collector and proton exchange membrane electrolyzer/fuel cell: thermodynamic and exergoeconomic analyses with multi-objective optimization. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022; 47(62): 26468-26489.
- Sabbaghi MA., Soltani M., Fraser R., Dusseault M. Energy-based exergoeconomic and exergoenvironmental assessment of a novel CCHP system integrated with PEME and PEMFC for a residential building. *Energy* 2024; 305(132301): 1-17.
- Saeed EW., Warkozek EG. Modeling and analysis of renewable PEM fuel cell system. *Energy Procedia* 2015; 74: 87-101.
- Sarma U., Ganguly S. Determination of the component sizing for the PEM fuel cell-battery hybrid energy system for locomotive application using particle swarm optimization. *Journal of Energy Storage* 2018; 19: 247-259.
- Satterthwaite D. Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and Urbanization* 2008; 20(2): 539-549.
- Sazali N. Emerging technologies by hydrogen: A review. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(38): 18753-18771.
- Singla MK., Nijhawan P., Oberoi AS. Hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28: 15607-15626.
- Taner T. Energy and exergy analyze of PEM fuel cell: A case study of modeling and simulations. *Energy* 2018; 143: 284-294.
- Turan C., Cora ÖN., Koç M. Effect of manufacturing processes on contact resistance characteristics of metallic bipolar plates in PEM fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy* 2011; 36(19): 12370-12380.
- Turan C., Cora ÖN., Koç M. Investigation of the effects of process sequence on the contact resistance characteristics of coated metallic bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells. *Journal of Power Sources* 2013; 243: 925-934.
- Wang D., Dhahad HA., Ali MA., Almojil, SF., Almohana AI., Alali AF., Alyousuf FQA., Almoalimi K. T. Environmental/Economic assessment and multi-aspect optimization of a poly-generation system based on waste heat recovery of PEM fuel cells. *Applied Thermal Engineering* 2023; 223 (119946):1-14.

Zhao P., Wang J., Gao L., Dai Y. Parametric analysis of a hybrid power system using organic Rankine cycle to recover waste heat from proton exchange membrane fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy* 2012; 37(4): 3382-3391.

Zuliani N., Taccani R. Microgeneration system based on HTPEM fuel cell fueled with natural gas: Performance analysis. *Applied Energy* 2012; 97: 802-808.

CoFe₂O₄ Nanopartikülleri ve Odun Talaş Katkısı İçeren Boyanın Mikrodalga Soğurma Özellikleri

Ali Onur KAYA^{1*}, Mert Can EMRE², İbrahim Halil MUTLU³

¹Vocational School of Health Service, Radiotherapy Department, Akdeniz University, 07070, Antalya, Türkiye

²Sorgun Vocational School, Motor Vehicles Department, Yozgat Bozok University, 66700, Yozgat, Türkiye

³Material Science and Engineering Department, Akdeniz University, 07070, Antalya, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4220-1866>

²<https://orcid.org/0000-0002-1445-0358>

³<https://orcid.org/0000-0003-1643-4332>

* Corresponding author: alionurkaya@akdeniz.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.12.2024

Kabul tarihi: 22.01.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Elektromanyetik girişim (EMI)

Kobalt ferrit (CoFe₂O₄)

Odun talaşı

Hibrit boya sistemleri

Mikrodalga absorpsiyonu

Yansıma kaybı

ÖZ

Elektromanyetik girişim (EMI) koruma ihtiyacı; manyetik ve dielektrik özellikleri birleştiren ileri düzey malzemelerin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Bu çalışma; 3,2–5,0 GHz aralığında EMI korumasını artırmak için kobalt ferrit (CoFe₂O₄) nanopartikülleri (%5) ve odun talaşı (%10) içeren bir kompozit boya sunmaktadır. Odun talaşı; gözenekli yapısı ve dielektrik özellikleri sayesinde CoFe₂O₄'ün manyetik kayıp özelliklerini tamamlayarak elektromanyetik dalga soğurumunu artırmıştır. Bu boya, CoFe₂O₄ içeren sistemin 10 dB'lik performansını aşarak maksimum 12 dB soğurma koruma etkinliği (SE) elde etmiştir. Yansıma SE değerleri ise -1 ile +1 dB arasında azalmıştır. Bu çevre dostu ve maliyet etkin malzeme, endüstriyel ve savunma uygulamaları için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Microwave Absorption Properties of Paint Containing CoFe₂O₄ Nanoparticles and Wood Shaving Additive

Research Article

Article History:

Received: 04.12.2024

Accepted: 22.01.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Electromagnetic interference (EMI)

Cobalt ferrite (CoFe₂O₄)

Wood shavings

Hybrid paint systems

Microwave absorption

Reflection loss

ABSTRACT

The demand for effective shielding against electromagnetic interference (EMI) has driven the development of advanced materials combining magnetic and dielectric properties. This study presents a composite paint with cobalt ferrite (CoFe₂O₄) nanoparticles (5 wt%) and wood shavings (10 wt%) for enhanced EMI shielding in the 3.2–5.0 GHz range. Wood shavings improved electromagnetic wave absorption through their porous structure and dielectric properties, complementing CoFe₂O₄'s magnetic loss characteristics. The paint achieved a peak absorption shielding effectiveness (SE) of 12 dB, surpassing the 10 dB of the CoFe₂O₄-only system. Reflection SE values were reduced between -1 to +1 dB. This eco-friendly and cost-effective material offers significant potential for industrial and defense applications.

To Cite: Kaya AO., Emre MC., Mutlu IH. Microwave Absorption Properties of Paint Containing CoFe₂O₄ Nanoparticles and Wood Shaving Additive. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 794-806.

1.Introduction

Electromagnetic pollution, resulting from the swift progression of wireless communication technology and electronic devices, has become a notable environmental issue. In contrast to conventional pollutants, including water, air, and soil toxins, electromagnetic interference (EMI) poses distinct issues owing to its ubiquitous nature and its effects on human health and technology systems. Extended exposure to

electromagnetic waves (EMWs), especially in high-frequency ranges, can interfere with biological processes, resulting in immune suppression and heightened susceptibility to chronic diseases (Wu et al., 2021; Ghaffarkhah et al., 2023).

The development of microwave-absorbing materials (MAMs) has received considerable attention. For MAMs to work well, they should have a wide effective absorption bandwidth (EAB), a high reflection loss (RL), a light structure, and a thin matching thickness. The properties of MAMs facilitate the efficient conversion of electromagnetic energy into heat, thereby reducing EMI while preserving structural and functional integrity (Gan et al., 2020; Shi et al., 2023). Cobalt spinel ferrite (CoFe_2O_4) stands out among various magnetic materials as a promising candidate, attributed to its high magnetic loss, adjustable magnetic properties, and cost-effectiveness (Gupta and Tai, 2019). CoFe_2O_4 has some problems, like being very dense and not conducting electricity well, which limits its use as an independent microwave absorber. Composite systems that integrate CoFe_2O_4 with lightweight and porous materials have been investigated to address these limitations. The composites improve impedance matching and interfacial polarization, resulting in enhanced microwave absorption performance (Cheng et al., 2022; Shi et al., 2022). Wood shavings, recognized as a renewable and environmentally sustainable material, demonstrate significant potential as an auxiliary element in MAMs. The porous structure, low density, and large surface area make it the perfect matrix for adding CoFe_2O_4 nanoparticles. The integration of wood shavings with CoFe_2O_4 enhances both the mechanical and electromagnetic characteristics of the composite while simultaneously addressing sustainability issues (Guan et al., 2021; Liu et al., 2021). The porous structure of wood shavings promotes multiple reflections of electromagnetic waves, thereby increasing absorption capacity. This study investigates the electromagnetic absorption performance of a novel CoFe_2O_4 -wood shaving composite paint. The paint is engineered to optimize absorption efficiency through the synergistic effects of CoFe_2O_4 nanoparticles and the porous, dielectric characteristics of wood shavings. This study evaluates reflection loss, effective absorption bandwidth, and frequency-dependent absorption properties of the composite. This study seeks to enhance the development of high-performance, environmentally sustainable electromagnetic absorbers by focusing on material efficiency and sustainability.

2. Experimental Methods

2.1. Synthesis of Cobalt Ferrite Nanoparticles (CoFe_2O_4)

CoFe_2O_4 nanoparticles were synthesized through an optimized hydrothermal method. Cobalt chloride ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and ferric chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) were used as starting materials, and ammonia (NH_3) was added to make the solution pH level 10.5 which made it a stable place for the reaction to happen. Polyethylene glycol (PEG, 2g) was utilized to prevent nanoparticle agglomeration and control particle size (Cheraghali, 2022). The reaction mixture was heated at 180 °C for 12 h in a hydrothermal reactor. After cooling, the nanoparticles were separated by a magnetic field, extensively washed with deionized water and ethanol, and finally dried at 80 °C for 24 h. A heat treatment at 600 °C for 6 h was conducted

in order to enhance the crystallinity and magnetic properties (Fu and Liu, 2007; Hazra, 2015; Cheraghali, 2022). Figure 1 shows the schematic representation of the process of synthesis for the nanoparticles.

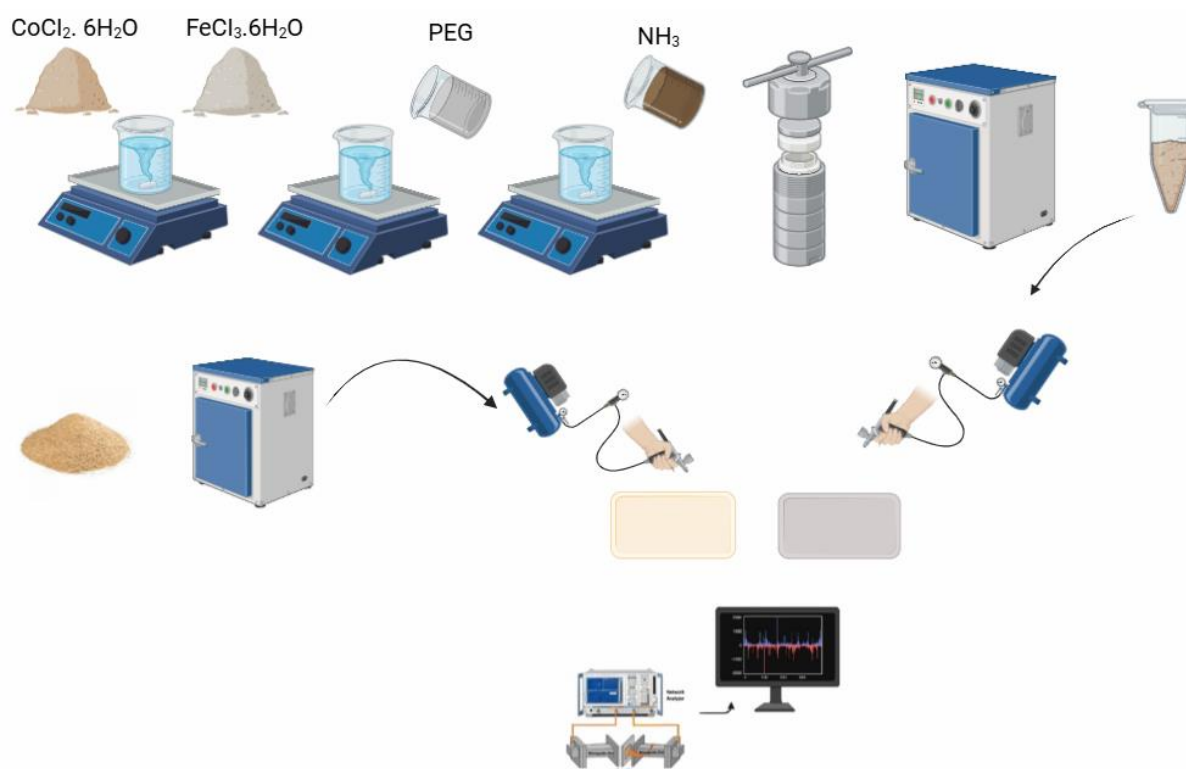


Figure 1. Schematic representation of the nanoparticle production method.

2.2. Structural Analysis of Samples

The synthesized CoFe_2O_4 nanoparticles have been characterized to determine the structural properties by using X-ray Diffraction (XRD) analysis. The experiment was conducted using a Bruker D8 Advanced Diffractometer using $\text{Cu K}\alpha$ radiation having $\lambda = 0.15406$ nm. Diffraction patterns were obtained in the range of 2θ from 20° to 80° , and PCPDFWIN software was used for analysis. Cross-referencing of the obtained results with the JCPDS database confirmed the spinel structure. Crystallite size was estimated by using the Scherrer equation with a focus on the (311) reflection plane. Measurements were in the range from 10 to 50 nm, considering instrumental broadening and strain effects (Ren et al., 2015; Sahoo, 2015). SEM was performed to confirm both morphology and uniformity in particle size.

2.3. Magnetic Characterization

This work used a vibrating sample magnetometer (VSM) to study the magnetic properties of CoFe_2O_4 nanoparticles. Hysteresis loops representing magnetization (M) versus magnetic field (H) at room temperature over the range between $-6,000$ Oe and $6,000$ Oe was registered. Important parameters, such as coercivity (H_c) and saturation magnetization (M_s), were analysed, revealing remarkable improvements after the annealing process.

2.4. Electromagnetic Shielding Effectiveness

A vector network analyser (VNA) was used to measure the shielding effectiveness (SE) of CoFe₂O₄ nanoparticles over a frequency range of 3.2–5.0 GHz. The scattering parameters, namely S₁₁ and S₂₁, were used to determine reflection loss (SER), absorption loss (SEA), and multiple reflection loss (SEMR). CoFe₂O₄ nanoparticles were introduced in a composite paint system in three different weight concentrations: wt 5%, wt 10%, and wt 15%. Paint samples were applied on glass fiber composite substrates in order to investigate the shielding behaviour, which is mainly determined by absorption (Keskin et al., 2019; Ozturk and Chung, 2021; Ates et al., 2023; Paul et al., 2023). All coatings were systematically kept within a thickness of 1 μm to 6 μm to ensure optimum shielding effectiveness over the desired frequency range.

SE and its components can be estimated from scattering parameters using Equations (1) – (3) (Hong et al., 2023):

$$SE_R = -10\log(1 - |S_{11}|^2) \quad (2.1)$$

$$SE_A = -10\log\left(\frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2}\right) \quad (2.2)$$

$$SE = SE_R + SE_A = -10\log(|S_{21}|^2) \quad (2.3)$$

2.5. Thermal Treatment and its Impact

Thermal treatment at 600 °C for 6 h was found to significantly improve the crystallinity and magnetic properties of CoFe₂O₄ nanoparticles. The process improved the atomic structure, reduced lattice imperfections, and increased the phase purity, as demonstrated by the sharper XRD peaks. Also, magnetic parameters, such as H_C and M_S improved drastically owing to better domain alignment and homogeneous distribution of ions (Hazra, 2015; Kakati et al., 2021). The effectiveness of CoFe₂O₄ in the applications of electromagnetic interference shielding and radar absorption depends on these characteristics.

2.6. Application and Integration Process of Cobalt Ferrite Nanoparticles

The present work examined the efficiency of a paint system made from Hempadur Easy 47700 primer and Hemptane Topcoat 55210 Ral 7001 as a shielding agent against electromagnetic fields. To enhance the radar absorbing characteristics, CoFe₂O₄ nanoparticles at three various weight concentrations (5 wt%) were incorporated into the paint. Radar-absorbing materials (RAMs) are very important in military applications, especially for stealth operation and technologies for EMI shielding (Hazra, 2015; Wang et al., 2020; Kakati et al., 2021; Tudose et al., 2022). The well-dispersed CoFe₂O₄ nanoparticles were firstly mixed into paint and then coated on glass fiber composite substrates. This led to the formation of three distinct sample groups, each corresponding to a specific nanoparticle

concentration. The multi-layered paint formulation facilitated uniform nanoparticle distribution throughout the substrate, enhancing the absorption of electromagnetic waves. The coating thickness varied between 1 μm and 6 μm , designed to optimize electromagnetic shielding performance in the 3.2–5.0 GHz frequency range (Figure 2) (Wang et al., 2020; Tudose et al., 2022). Adding CoFe_2O_4 to the paint system made it easier to match the impedance and better at absorbing radar waves. This is because the nanoparticles and the composite matrix worked together to make the system work better. The properties underscore the material's suitability for advanced military and industrial electromagnetic shielding applications.



Figure 2. Paint Sample Containing CoFe_2O_4 Particles and Wood Shavings.

2.7. Preparation of Wood Shavings

The wood shavings utilized in this investigation were sourced directly from untreated natural wood through mechanical shaving methods. The initial step involved processing the raw wood to produce fine shavings, which were subsequently sieved to obtain a consistent particle size distribution within the range of 200–500 μm . The shavings underwent a comprehensive washing process using deionized water and ethanol to eliminate any dirt and organic contaminants, thereby ensuring their purity and compatibility with the composite system. Following the washing process, the shavings underwent drying in an oven set at 80 $^{\circ}\text{C}$ for a duration of 24 hours to ensure the removal of moisture. Finally, we rinsed the processed shavings, followed by a second drying phase, and stored them in airtight containers. This meticulous approach was taken to maintain their structural integrity and dielectric properties, thereby ensuring optimal performance within the composite paint system.

3. Results and Discussion

3.1 Crystallite Size Analysis of CoFe_2O_4 Nanoparticles Using XRD

X-ray Diffraction (XRD) analysis confirmed the spinel structure of the synthesized CoFe_2O_4 nanoparticles, as indicated by the characteristic (311) peak, which is a half mark of spinel ferrites (Figure 3). The crystallite size of CoFe_2O_4 was determined using the Scherrer equation:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3.1)$$

Where:

- D = Crystallite size,
- K = Shape factor (0.9),
- λ = X-ray wavelength (0.15406 nm for Cu K α radiation),
- β = Full width at half maximum (FWHM) of the diffraction peak,
- θ = Bragg angle.

The analysis indicated that CoFe₂O₄ nanoparticles displayed a crystallite size ranging from 10 to 20 nm. The relatively small size is associated with broader XRD peak widths, suggesting an increased defect density and minor lattice strain. CoFe₂O₄'s properties make it better at coercivity and magnetic anisotropy, which means it can be used for moderate electromagnetic shielding tasks in the 3.2–5.0 GHz frequency range. The nanoscale size and spinel structure make it better at matching impedance and absorbing microwaves, even when there are lower concentrations in composite systems.

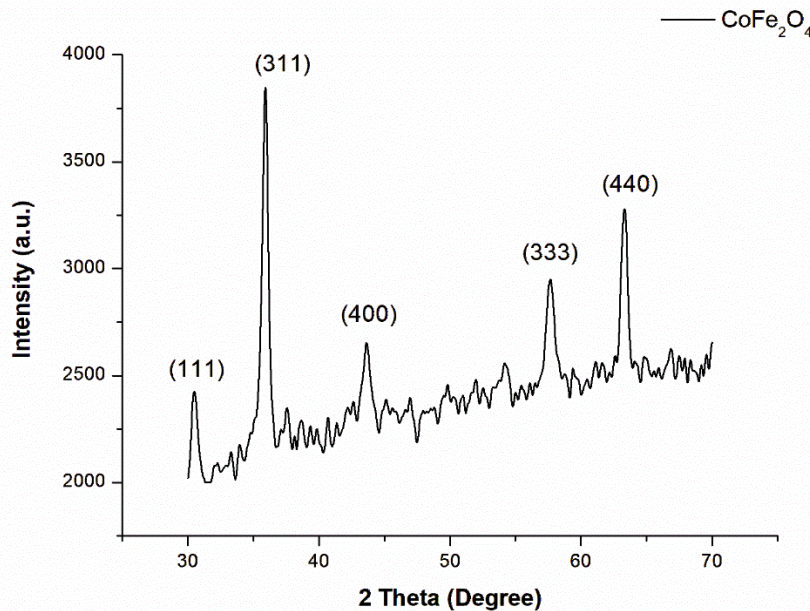


Figure 3. XRD analysis results of as-prepared CoFe₂O₄ samples synthesized with 2 g of PEG and at pH level 10.5.

The XRD pattern of CoFe₂O₄ nanoparticles demonstrates prominent diffraction peaks corresponding to specific crystallographic planes: (111), (311), (400), (333), and (440). The intense peak at (311) confirms the spinel structure of CoFe₂O₄, which is characteristic of ferrite materials. The presence of these planes indicates high crystallinity, with the (311) plane being the most dominant, suggesting a well-ordered crystal lattice. These reflections align well with the standard JCPDS data, affirming the

successful synthesis of CoFe_2O_4 nanoparticles. The observed peaks also reflect the material's potential for applications requiring high magnetic and dielectric properties.

3.2. Morphological Analysis of CoFe_2O_4 Nanoparticles

Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis provided detailed insights into the morphological characteristics of CoFe_2O_4 nanoparticles, complementing the XRD-derived crystallographic data. The SEM images (Figure 4) revealed that CoFe_2O_4 particles exhibited irregular shapes with significant porosity. These features are consistent with the calculated crystallite size range of 10–20 nm, as determined from XRD analysis.

The observed morphology is indicative of smaller, less aggregated nanoparticles, a result of controlled nucleation during the hydrothermal synthesis process and subsequent thermal treatment. The porous structure enhances the surface area, which can improve electromagnetic wave interaction and absorption efficiency. The irregular particle shapes and higher defect density further align with the broader diffraction peaks observed in the XRD patterns.

The SEM findings reinforce the suitability of CoFe_2O_4 nanoparticles for moderate EMI shielding applications, as their nanoscale dimensions and porosity contribute to better impedance matching and effective radar wave absorption within the 3.2–5.0 GHz frequency range.

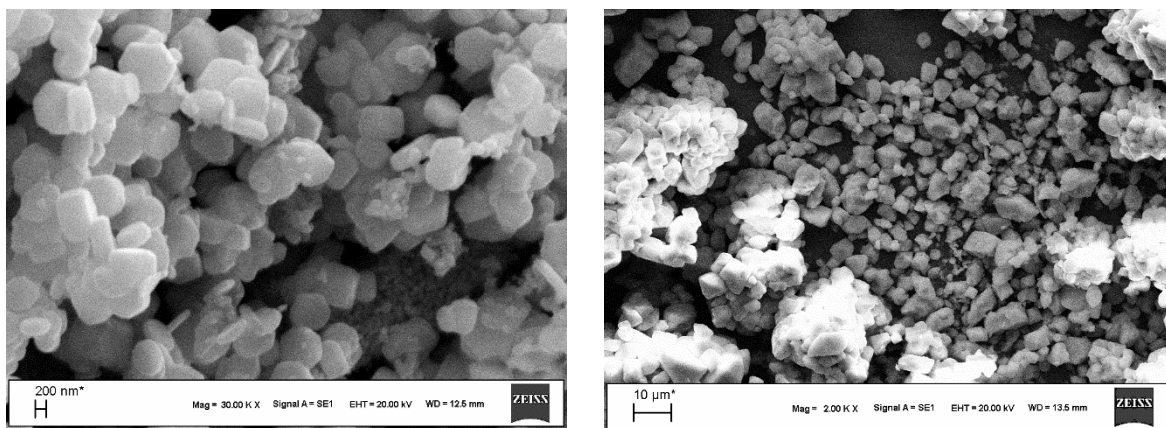


Figure 4. Analysis of SEM images of CoFe_2O_4 samples synthesized with 2 g of PEG and at pH level 10.5.

3.2.1 Absorption Shielding Effectiveness

The effectiveness of absorption shielding (SE) for the composite paint systems was assessed across the frequency range of 3.2–5.0 GHz (Figure 5). The hybrid paint system, comprising 5 wt% CoFe_2O_4 and 10 wt % wood shavings, reached maximum SE values of around 12 dB, surpassing the CoFe_2O_4 -only system, which peaked at 10 dB. The wood shavings' porous structure and dielectric characteristics, which facilitate numerous internal reflections and wave scattering, are responsible for the improvement. The identified characteristics enhanced impedance matching and energy dissipation, leading to more effective electromagnetic wave absorption. The results validate the significant impact of wood shavings

in facilitating increased absorption SE values via mechanisms like interfacial polarization and improved dielectric loss.

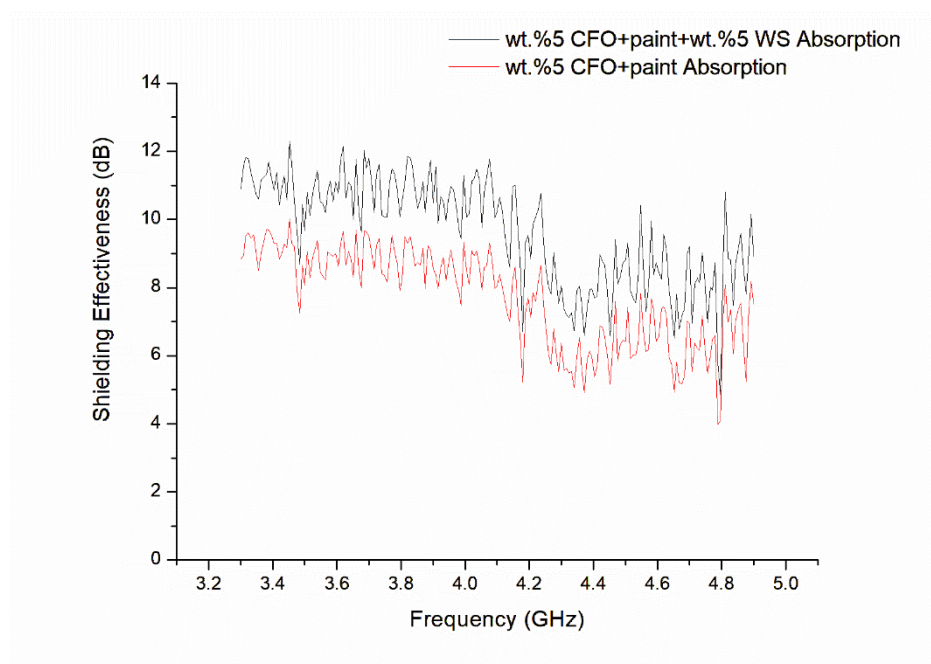


Figure 5. Absorption shielding effectiveness (SE) of composite paints within the 3.2–5.0 GHz frequency range, comparing systems with and without wood shavings.

3.2.2. Reflection Shielding Effectiveness

The analysis of reflection SE was conducted within the frequency range of 3.2–5.0 GHz, as illustrated in Figure 6. The addition of 10 wt% wood shavings to the paint system led to a notable decrease in reflective losses when compared to the system containing only CoFe_2O_4 . The hybrid system demonstrated consistent reflection SE values, fluctuating between -1 dB and +1 dB, which suggests efficient wave penetration and reduced back-reflection. The CoFe_2O_4 -only system had higher and more variable reflection SE values, with peaks reaching 2–3 dB. This suggests that it was less good at matching impedance and releasing energy. The porous and dielectric characteristics of wood shavings played a significant role in diminishing surface reflections, thereby improving the overall electromagnetic shielding effectiveness of the hybrid paint system.

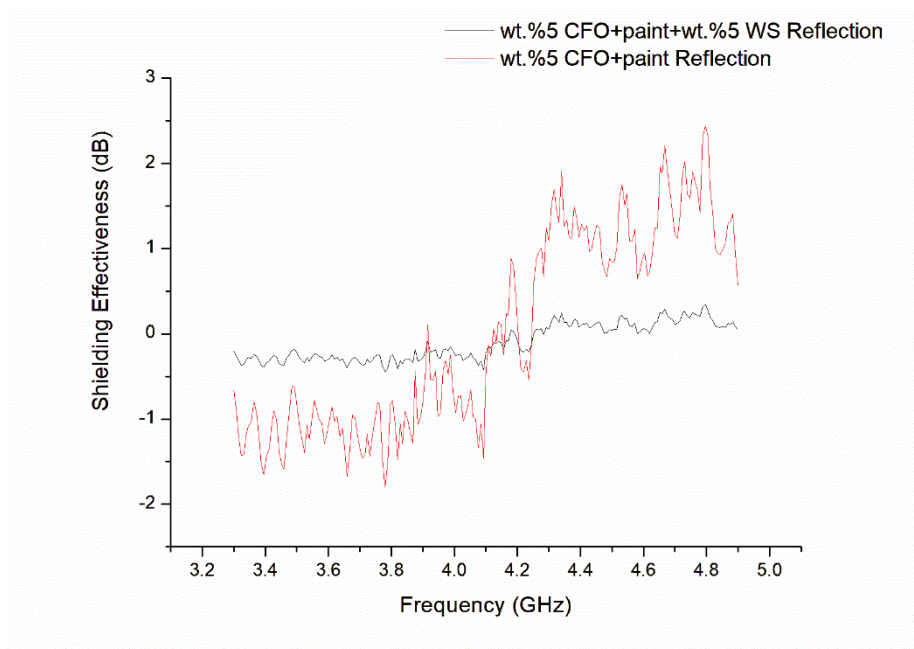


Figure 6. Reflection shielding effectiveness (SE) of composite paints within the 3.2–5.0 GHz frequency range, comparing systems with and without wood shavings.

3.2.3. Combined Absorption and Reflection Analysis

The combined study of absorption and reflection shielding effectiveness (Figures 5 and 6) shows clearly how adding 10 wt percent of wood shavings and 5 wt percent of CoFe_2O_4 to the composite paint system works effectively. In the frequency range of 3.2–5.0 GHz, the hybrid system exhibited enhanced performance, attaining higher absorption SE values (up to 12 dB) and notably lower reflection SE values (stabilizing between -1 dB and +1 dB). The findings also highlight how wood shavings can improve electromagnetic wave attenuation by utilizing mechanisms like wave scattering, internal reflections, and enhanced impedance matching. The CoFe_2O_4 -system demonstrated effectiveness but showed limited absorption, peaking at 10 dB, along with increased reflection. This underscores the essential contribution of wood shavings in attaining a well-rounded shielding performance.

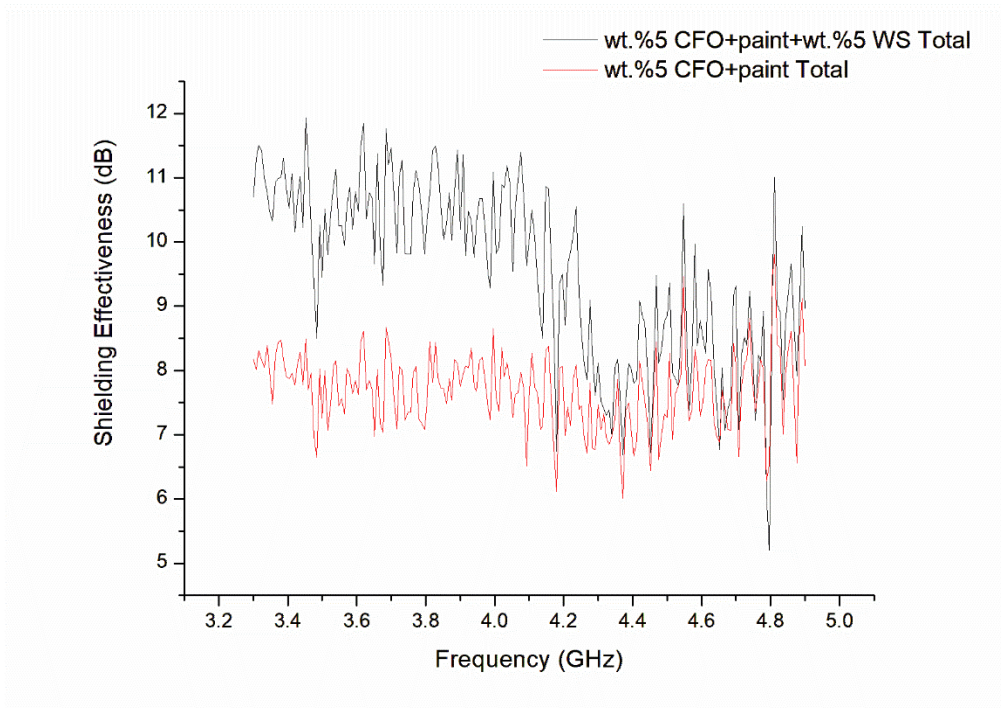


Figure 7. Combined analysis of absorption and reflection shielding effectiveness (SE) within the 3.2–5.0 GHz frequency range for hybrid and CoFe₂O₄- systems.

3.3. Magnetic Characteristics Enhance Structural and Morphological Examination

The VSM measurements (Figure 8) revealed significant differences in the magnetic properties of the ferrites. CoFe₂O₄ exhibited the highest H_C, attributed to its small crystallite size (10–20 nm) and irregular morphology, which increase magnetic anisotropy and domain wall pinning. These factors highlight the critical role of synthesis parameters in determining the magnetic, structural, and morphological properties of the materials. Such properties directly influence their effectiveness in EMI shielding and radar absorption applications, underlining the importance of precise control over synthesis conditions (Rajender et al., 2024).

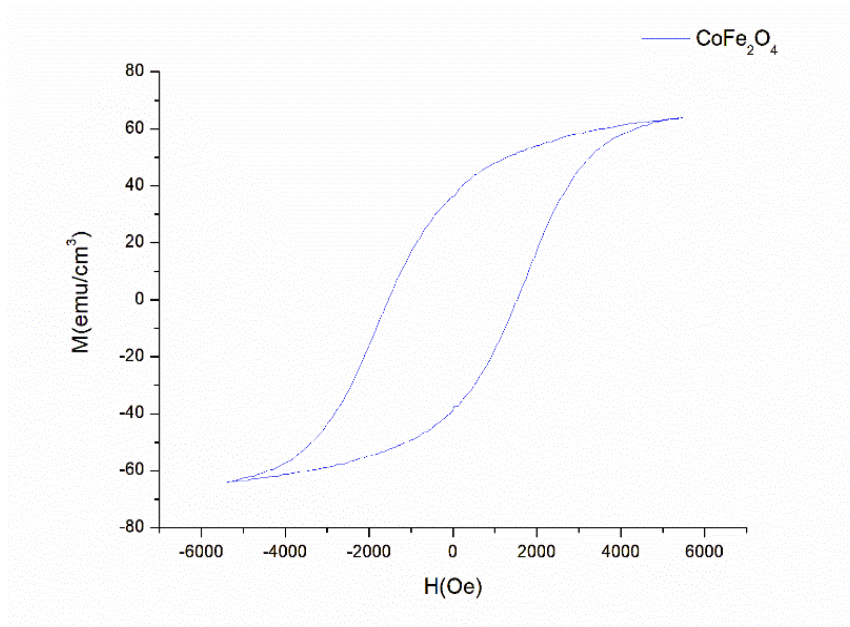


Figure 8. M-H hysteresis curves of ferrite samples: CoFe_2O_4

4. Conclusion

This investigation showcases the innovative incorporation of wood shavings into a CoFe_2O_4 -based composite paint system aimed at improving electromagnetic interference shielding. The addition of 10 wt% wood shavings in combination with 5 wt% CoFe_2O_4 nanoparticles enhanced absorption shielding effectiveness (12 dB compared to 10 dB) and markedly decreased reflection losses. The improvements observed can be directly linked to the porous structure, dielectric characteristics, and scattering phenomena of the wood shavings, which work together with the magnetic properties of CoFe_2O_4 in a synergistic manner. The results highlight the sustainability and cost-effectiveness of wood shavings when used as a supplementary filler in advanced shielding materials. This combined method improves overall shielding effectiveness while also meeting the increasing need for sustainable and lightweight materials. Future investigations could examine the effectiveness of analogous systems across wider frequency ranges or in different environmental contexts, setting the stage for additional advancements in EMI shielding technologies.

Acknowledgements

This work was supported by The Scientific Research Projects Coordination Unit of Akdeniz University Project Number: FBA-2023-6377.

Conflict of Interest Declaration

The authors declare that there is no conflict of interest between them.

Summary of Researchers' Contribution Rate Declaration

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

- Ates K., Kocaer TZ., Ozen S., Kockal NU. Electromagnetic interference shielding effectiveness and microwave absorption performance of plaster mortars containing metal waste chips in X-band frequency range. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 2023; 57(3): 230–244.
- Cheng M., Ying M., Zhao R., Ji L., Li H., Liu X., Zhang J., Li Y., Dong X., Zhang X. Transparent and flexible electromagnetic interference shielding materials by constructing sandwich AgNW@MXene/wood composites. *ACS Nano* 2022; 16(10): 16996–17007.
- Cheraghali S. Synthesis and characterization of polyethylene glycol-coated hierarchical ferrite nanoparticles as contrast agents for magnetic resonance imaging applications. *Università Ca' Foscari Venezia* 2022.
- Fu SY. , Liu XM. *Progress in solid state chemistry research*. Google Books 2007.
- Gan W., Chen C., Giroux M., Zhong G., Goyal MM., Wang Y., Ping W., Song J., Xu S., He S., Jiao M., Wang C., Hu L. Conductive wood for high-performance structural electromagnetic interference shielding. *Chemistry of Materials* 2020; 32(12): 5280–5289.
- Ghaffarkhah A., Hashemi SA., Ahmadijokani F., Goodarzi M., Riazi H., Mhatre SE., Zaremba O., Rojas OJ., Soroush M., Russell TP., Wuttke S., Kamkar M., Arjmand M. Functional Janus structured liquids and aerogels. *Nature Communications* 2023; 14(1): 1–9.
- Guan QF., Han ZM., Yang KP., Yang HB., Ling ZC., Yin CH., Yu SH. Sustainable double-network structural materials for electromagnetic shielding. *Nano Letters* 2021; 21(6): 2532–2537.
- Gupta S., Tai NH. Carbon materials and their composites for electromagnetic interference shielding effectiveness in X-band. *Carbon* 2019; 152: 159–187.
- Hong J., Kwon J., Im D., Ko J., Nam CY., Yang HG., Shin SH., Hong SM., Hwang SS., Yoon HG., Lee AS. Best practices for correlating electrical conductivity with broadband EMI shielding in binary filler-based conducting polymer composites. *Chemical Engineering Journal* 2023; 455: 140528.
- Kakati S., Rendale MK., Mathad SN. Synthesis, characterization, and applications of CoFe₂O₄ and M-CoFe₂O₄ (M = Ni, Zn, Mg, Cd, Cu, RE) ferrites: A review. *International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis* 2021; 30(4): 189–219.
- Keskin HI., Ozen S., Ates K., Polat LN. Analysis and measurement of the electromagnetic shielding efficiency of the multi-layered carbon fiber composite fabrics. *Progress in Electromagnetics Research Symposium* 2019; 4354-4360.
- Liu R., Wang D., Xie Y., Li J., Wang L. Flexible cellulose-based material with a higher conductivity and electromagnetic shielding performance from electroless nickel plating. *Wood Science and Technology* 2021; 55(6): 1693-1710.
- Ozturk M., Chung DDL. Radio-wave shielding behavior of steel structures. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 2021; 35(11): 1407–1419.

- Paul LC., Shaki GA., Rani T., Lee WS. A compact UWB array antenna for microwave imaging/WiMAX/Wi-Fi/Sub-6 GHz applications. *Lecture Notes in Electrical Engineering* 2023; 980: 349-360.
- Rajender T., Naidu KCB., Basha DB., Samanta S., Reddy LSS. Magnetic, dielectric and thermal study of CoNiFe₂O₄ nanoparticles. *Nano-Structures & Nano-Objects* 2024; 38: 101167.
- Ren F., Zhu G., Ren P., Wang K., Cui X., Yan X. Cyanate ester resin filled with graphene nanosheets and CoFe₂O₄-reduced graphene oxide nanohybrids as a microwave absorber. *Applied Surface Science* 2015; 351: 40–47.
- Sahoo SR. Synthesis of mesoporous magnetic MFe₂O₄ (M=Co, Mn, Ni) nanoparticles for the photodegradation of pesticides. Department of Chemistry, National Institute of Technology MSc Thesis, Rourkela, Odisha, India, 2015.
- Shi X., Luo J., Luo J., Li X., Han K., Li D., Cao X., Wang ZL. Flexible wood-based triboelectric self-powered smart home system. *ACS Nano* 2022; 16(2): 3341–3350.
- Shi Y., Nie C., Jiang S., Wang H., Feng Y., Gao J., Tang L., Song P. Tunable construction of fire safe and mechanically strong hierarchical composites towards electromagnetic interference shielding. *Journal of Colloid and Interface Science* 2023; 652: 1554–1567.
- Hazra S. Development of a novel "one-pot" ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) precursor-based method for preparation of hard-soft ferrite nanocomposites and study of their properties. Birla Institute of Technology and Science Pilani MSc Thesis, Pilani, India, 2015.
- Tudose IV., Mouratis K., Ionescu ON., Romanitan C., Pachiou C., Popescu M., Khomenko V., Butenko O., Chernysh O., Kenanakis G., Barsukov VZ., Sucheai MP., Koudoumas E. Novel water-based paints for composite materials used in electromagnetic shielding applications. *Nanomaterials* 2022; 12(3): 487.
- Wang G., Ong SJH., Zhao Y., Xu ZJ., Ji G. Integrated multifunctional macrostructures for electromagnetic wave absorption and shielding. *Journal of Materials Chemistry A* 2020; 8(46): 24368–24387.
- Wu N., Hu Q., Wei R., Mai X., Naik N., Pan D., Guo Z., Shi Z. Review on the electromagnetic interference shielding properties of carbon-based materials and their novel composites: Recent progress, challenges and prospects. *Carbon* 2021; 176: 88–105.

Kırmızı Et Tüketimine İlişkin Görüşler, Göstergeler ve Tartışmalar: Iğdır İli Örneği

İbrahim Hakkı KADIRHANOĞULLARI^{1*}, Hasan BİÇİM²

¹Iğdır Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Iğdır, Türkiye

²Iğdır Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Sosyal Hizmet Bölümü, Iğdır, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-9640-8910>

²<https://orcid.org/0000-0002-9013-7806>

*Sorumlu yazar: i.kadirhanogullari@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.07.2024

Kabul tarihi: 21.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Regresyon ağacı

Kırmızı et

Tüketim

Sosyoekonomik yapı

ÖZ

Bu çalışma; Iğdır ilinde yaşayan tüketicilerin kırmızı et tüketim tercihlerini belirlemeyi hedeflemektedir. Basit tesadüfi örnekleme yöntemi kullanılarak 409 katılımcıdan veri toplanmıştır. Yöntem olarak regresyon ağacı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda katılımcıların %91,45'inin kırmızı et satın aldığı ve %65,74'ünün ise kırmızı eti belirli bir kasaptan tercih ettiği tespit edilmiştir. Tüketicilerin kırmızı eti satın alırken tazeliğine (%41,26) dikkat ettikleri ve genellikle kıyma şeklinde tercih etme eğiliminde oldukları (%40,16) belirlenmiştir. Lezzetin (%48,95) kırmızı et tercihinde önemli bir faktör olduğu vurgulanmış olup, katılımcıların %72,28'inin ise kırmızı eti diğer et türlerine oranla ilk sırada tercih ettikleri saptanmıştır. Koyun eti (%38,89) en çok tercih edilen kırmızı et türü olarak öne çıkmaktadır ve haftalık kırmızı et tüketimi (%66,99) en yaygın gerçekleşen tüketim şeklidir. Ayrıca, kırmızı et tüketimi etkileyen sosyoekonomik faktörler arasında erkekler, 31-43 yaş arası tüketiciler, lise mezunları, orta gelir grubundakiler, evli kişiler, kamu çalışanları ve kent merkezinde yaşayanlar ön plana çıkmaktadır.

Opinions, Indicators and Discussions on Red Meat Consumption: The Case of Iğdır Province

Research Article

Article History:

Received: 08.07.2024

Accepted: 21.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Regression tree

Red meat

Consumption

Socio-economic structure

ABSTRACT

This study aims to determine the red meat consumption preferences of consumers living in Iğdır province. Data were collected from 409 participants using simple random sampling method. Regression tree was used as a method. As a result of the analysis, it was determined that 91.45% of the participants buy red meat and 65.74% of them prefer red meat from a specific butcher. Consumers paid attention to freshness (41.26%) and tended to prefer minced meat (40.16%). Taste (48.95%) was emphasized as an important factor in red meat preference, and 72.28% of the participants preferred red meat in the first place compared to other meat types. Mutton (38.89%) stands out as the most preferred red meat type and weekly red meat consumption (66.99%) is the most common type of consumption. In addition, among the socio-economic factors affecting red meat consumption preference, men, consumers aged 31-43 years, high school graduates, middle income group, married people, public employees and those living in the city center come to the forefront.

To Cite: Kadirhanogullari İH., Biçim H. Kırmızı Et Tüketimine İlişkin Görüşler, Göstergeler ve Tartışmalar: Iğdır İli örneği Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 807-822.

1. Giriş

Son dönemlerde küresel boyutta artan kentsel nüfus yoğunluğu beraberinde çeşitli tüketim sektörlerinde gıdaya ulaşım sorunlarına yol açmaktadır (Miladinov, 2023). Lefebvre (2010)'in ifade ettiği gibi kent ve kent toplumu; günümüzde artık tarımsal üretimi bizzat emen veya onun üzerinde hâkimiyet kuran bu süreç sonucunda inşa edilen toplum haline gelmiştir. Öyle ki kentleşme, gıda talebinin mekânsal düzenlerini, tüketiciyi, gıda tedarikini, tüketimin nasıl ve ne şekilde olacağı gibi konularda tarımsal gıda sistemlerinin dönüşümüne etki etmektedir. Bu değişimler tüketiciler için uygun, sağlıklı ve kolay erişim sağlanma konularında hem fırsatlar hem de zorluklar yaratarak tarımsal gıda sistemlerini etkilemektedir (FAO, 2023). Eğer kamu sağlığı açısından temiz içme suyu 19. yüzyıl kentlerinde sosyal ilerlemenin önündeki başlıca engel olmuşsa, sağlıklı bir beslenme ve herkes için gıdaya erişimin 21. yüzyılın en önemli konularından olmaya aday olacağını söylemek mümkündür (Franck, 2005). Özellikle Türkiye'nin yoğun nüfus ve hızlı kentleşme süreçlerinin yaşandığı bölgelerde, bu sorunun giderek daha önemli bir sosyal problem haline geleceği öngörülebilir.

Et, modern toplumların beslenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Yalnız etin bu dönemdeki değeri, besin değeriyle sınırlı değildir. Et yemeklerinin hazırlanışı ve tüketilişi itibariyle kültürel ve geleneksel, kimlik açısından bireysel veya kolektif, toplumsal cinsiyet ilişkisiyle, sağlık ve hastalık anlamıyla sosyolojik özellikler taşımaktadır. Et üretimi ekolojik problemler, hayvan hakları, çalışma koşulları ve halk sağlığı açısından önemli bir konudur. Etin üretimi, tüketimi ve dağıtımı da sosyopolitik çatışma barındırmaktadır. Ayrıca teknik ve bilimsel yenilikler ile politik ve ekonomik uygulamalar ve kararlar, tarımın özellikle de et üretiminin dönüşümü hem bir üretim verimliliği hem de eşi görülmemiş çevre sorunlarına yol açmaktadır (Nungesser ve Winter, 2021). Endüstrileşme, nüfus artışı, hızlı kentleşme, hane halkı gelir artışı, et ve süt tüketimine ilişkin bilinçlenme talep ve arzda değişime neden olurken özellikle de gelişmiş ülkelerde et tüketiminin artmasıyla “Hayvancılık Devrimi” ni meydana getirmiştir (Delgado, 2003).

TRT Haber'in “Türkiye'nin etini İstanbullu yiyor” adlı başlıklı haberi, Türkiye'de kentleşme ve tüketimin boyutları hakkında ipuçları vermektedir. Habere göre Türkiye'de üretilen 1 milyon 300 bin ton kırmızı etin 330 bin tonunu sadece İstanbul'da ikamet edenler tüketmektedir (TRT Haber, 24/01/2016). Türkiye'de kırmızı et tüketimine ilişkin tutum, düşünce ve politikalar bağlamında bölge ve şehir ölçeğinde son yıllarda çeşitli alanlarda çalışan akademisyenlerin ilgisini çeken önemli çalışma konularından biridir (Atay ve ark., 2004; Karakuş ve ark., 2008; Tosun ve Hatırlı, 2009; Yaylak ve ark., 2010; Tunaz ve ark., 2022; Acıbuca ve Kaya, 2023). Et tüketimi ve toplumsal cinsiyet eşitsizliğine ilişkin sosyolojik boyutunu ele alan çalışmalar da gözlenmektedir (Burgan, 2015; Çapar, 2020). Iğdır ilinde 2018 yılında büyükbaş hayvan sayısı 150633 ve küçükbaş hayvan sayısı 1028322 iken, 2023 yılında büyükbaş hayvan sayısı 68578 ve küçükbaş hayvan sayısı 860936'ya gerilemiştir (TÜİK, 2024). Büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısındaki azalma, kırmızı et piyasası üzerinde önemli bir etki yaratma potansiyeline sahiptir. Bu durum, kırmızı ete erişim imkânlarını kısıtlayarak, tüketim

seviyelerini olumsuz yönde etkileyebilir. Dolayısıyla, hayvan sayısındaki düşüş, kırmızı et tüketiminin azalmasına yol açabilir.

Bu araştırma Iğdır şehrinde kırmızı etin tüketilme boyutunun parametrelerini, sosyoekonomik göstergelerini ve tüketime ilişkin sorunlarını tespit etmeyi amaçlamıştır. Ayrıca, son yıllarda bu şehirde yaşanan sosyoekonomik sorunlar nedeniyle üretim/tüketim dengesinde meydana gelen düzensizliklerin kırmızı et tüketiminde ortaya çıkardığı sorunlar da ele alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma, Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu Başkanlığı'nın 12.10.2023 tarihli ve 2023/19 sayılı kararı ile etik ve idari izinler alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın verileri, Iğdır il merkezinde gerçekleştirilen bir anket uygulamasıyla elde edilmiştir. Anket soruları, literatürdeki yönergeler doğrultusunda kolay anlaşılır, yönlendirmeyen ve odaklı olarak hazırlanmıştır. Sorular; Ziraat ve Türk Dili Eğitimi alanlarında uzman dört kişinin görüşü alınarak geliştirilmiş ve uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Bu süreçte bazı ifadeler düzeltilmiştir. Anket formu; pilot çalışma olarak on tüketiciye uygulanmış ve uygulama sonrası bazı düzeltmeler yapılmıştır. Uzmanların değerlendirmeleri sonucunda anket formu son halini almıştır.

Araştırma, nicel araştırma yöntemlerinden “Basit Tesadüfi Örneklem Yığın Oran Tahmini” modeli kullanılarak yürütülmüştür. Basit tesadüfi örneklem (BTÖ) yönteminde her bir birim yığındaki diğer birimlere göre aynı olasılıkla örneklem dâhil edilir. Bu nedenle, yığındaki her bir gözlemin örneklemede temsil edilme olasılığı eşittir ve bu durum gözlemlere ağırlık atamayı gereksiz kılar. BTÖ yöntemiyle elde edilen verilerde istatistiksel hesaplamalar ağırlıksız olarak gerçekleştirilir, bu da işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesini sağlar (Alkaya, 2009). Iğdır ilinin nüfusu 209738 olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2024). Bu ana kitleyi %95 güven düzeyi ve %5 hata payı ile en iyi temsil etmesi için gereken örneklem büyüklüğü 384 olarak hesaplanmıştır (SurveyMonkey, 2024). Ancak örneklemin ana kitleye daha yakın olması durumunda dağılımın normal dağılıma daha yakın olacağı ve daha güvenilir sonuçlar üreteceği (Sezer, 2023) düşünülerek örneklem büyüklüğü 384'ün üzerinde olacak şekilde artırılmış ve toplamda 409'a ulaşılmıştır. Anket verileri hem yüz yüze hem de online görüşme yöntemleri kullanılarak toplanmış ve katılımcılar gönüllülük esasıyla araştırmaya dahil olmuşlardır. Yüz yüze görüşmeler, araştırmacı tarafından her biri yaklaşık 15 dakika sürecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara, cevaplarının gizlilik ilkesine uygun olarak ele alınacağı, elde edilen verilerin sadece bilimsel araştırma amacıyla kullanılacağı ve araştırmanın her aşamasında araştırmacı tarafından kontrol edileceği açıklanmıştır. Çalışmada veri madenciliği yöntem olarak izlenmiş ve modelleme aşamasında regresyon ağacı algoritması kullanılmıştır. Regresyon ağaçları, eksik verilerle başa çıkma konusunda dayanıklıdır ve büyük veri setleriyle hızlı bir şekilde sonuç elde etme imkânı sunar. Bu yöntem, verilerin normalleştirilmesi veya standartlaştırılması gibi ön işleme adımlarına ihtiyaç duymaz ve farklı türde verilerle çalışabilirken doğrusal olmayan ilişkileri de modelleyebilir. Ayrıca, verideki en önemli özellikleri belirlemede etkili bir araçtır; ağaç yapısı, hangi değişkenlerin

sonuç üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğunu ortaya koyar. Regresyon ağaçları, karar süreçlerini görselleştirerek sonuçların anlaşılmasını ve açıklanmasını kolaylaştırır; her bir dal, verinin nasıl sınıflandırıldığını açık bir şekilde gösterir (Çalış ve ark., 2014; Karadaş ve Kadirhanoğulları, 2017; Aksoy ve ark., 2021; Kadirhanoğulları ve ark., 2022a; Kadirhanoğulları ve ark., 2022b; Polat, 2023). Regresyon ağacı algoritma performanslarının karşılaştırılabilmesi amacıyla Grzesiak ve Zaborski (2012) ile Koç ve ark. (2017)'nin bildirdiği uyum iyiliği kriterleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Uyum iyiliği kriterleri

Determinasyon Katsayısı (Coefficient of Determination)	$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right] * 100$
Düzeltilmiş Determinasyon Katsayısı (Adjusted Coefficient of Determination)	$\bar{R}^2 = \left[1 - \frac{\frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right] * 100$
Varyasyon Katsayısı (Coefficient of Variation)	$CV = \sqrt{\frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{\bar{Y}}} * 100$
Ortalama Hata (Mean Error)	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{iP})$
Standart Sapma Oranı (Standard Deviation Ratio)	$SD = \sqrt{\frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$
Pearson Korelasyon katsayısı (Pearson Correlation Coefficient)	$PC = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$
Ortalama Mutlak Sapma (Mean Absolute Deviation)	$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \bar{x} $
Nispi Yaklaşım Hatası (Relative Approximation Error)	$RAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n Y_i^2}}$
Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (Root-Mean-Square Error)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$
Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error)	$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right * 100$

$$\varepsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (1)$$

Burada, $\varepsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$ formülü ile gerçek kırmızı et tüketim faktörleri (ETF) ile tahmin edilen ETF arasındaki farkı temsil etmektedir. n , toplam kırmızı et tüketen toplam kişi sayısını belirtirken (n), i , 1, 2, ..., n arasında değişen bir indeks olarak kullanılır. \bar{Y} genel ortalamayı, \hat{Y}_i ise i . kırmızı et tüketimine ait tahmin değerini ifade eder. Ayrıca, ε_i şansa bağlı hata değerini, $\bar{\varepsilon}$ ise şansa bağlı hata değerlerinin ortalama hata değerini temsil etmektedir. Y_i ise i . kırmızı et tüketimine ait ETF değerini göstermektedir.

Regresyon ağacı modelinde aylık et tüketim miktarı bağımlı değişken iken; cinsiyet, yaş, öğrenim durumu, hanedeki kişi sayısı, hanenin aylık ortalama geliri, medeni durum, meslek ve yaşadığımız yer bağımsız faktör olarak dâhil edilmiştir.

EXHAUSTIVE CHAID (Exhaustive Chi-squared Automatic Interaction Detector), CART (Classification and Regression Trees) ve CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detector) algoritmalarından en uygun model seçiminde Tablo 2’de adı geçen uyum iyiliği kriterleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda bağımlı değişken için tahmini değerler ile gözlenen (gerçek) değerler, R STUDIO programındaki ehaGoF paketi kullanılarak uyum iyiliği kriterleri hesaplanmıştır (Eyduran, 2020).

Model karşılaştırmaları en düşük ME, RMSE, MAPE, RAE, CV, SD ve MAD değerleri ile en yüksek PC, R ve R^2 değerine göre yapılmıştır (Tatlıyer, 2020).

Tablo 2. Kırmızı et tüketimini etkileyen faktörler için regresyon ağacı algoritmalarının uyum iyiliği

	EXHAUSTIVE CHAID	CART	CHAID
Rsq	0,925	0,901	0,896
ARsq	0,923	0,899	0,893
R	0,962	0,949	0,947
SDratio	0,273	0,315	0,322
RAE	0,017	0,022	0,023
CV	14,740	16,970	17,370
MAPE	3,439	9,500	7,474
MAD	0,039	0,077	0,068
RMSE	0,145	0,167	0,170
ME	0,001	0,011	0,003

En yüksek tahmin performansını belirlemek için ebeveyn (belirli bir özelliğe göre verileri bölen ana düğüm) ve yavru düğümü (ebeveyn düğümünden türeyen ve daha spesifik alt grupları temsil eden düğüm) 20:10, çapraz geçerlilik değeri ise %15 olarak ayarlanmıştır. Sevgenler (2019), veri seti üzerine ortalama bir hata değerini hesaplayabilmek için çapraz geçerlilik değerinin 10 olması gerektiğini ve ebeveyn-yavru düğüm oranı, bir ebeveyn düğümünden çıkan yavru düğümlerin sayısı veya sonuçlarını analiz ederek, modelin karmaşıklığını ve karar verme sürecinin ne kadar ayrıntılı olduğunun anlaşılması için önemli olduğunu belirtmiştir. Model karşılaştırmaları sonucunda

EXHAUSTIVE CHAID algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği saptanmış ve bu algoritma kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Katılımcıların aylık kırmızı et tüketim miktarını (kg) etkileyen sosyoekonomik faktörler Tablo 3'te görüldüğü üzere; cinsiyet, yaş, eğitim seviyesi, hane büyüklüğü, gelir, medeni durum, meslek ve ikametgâh değişkeni olarak gruplandırılmıştır.

Cinsiyet faktörüne göre; araştırmaya katılan erkeklerin sayısı 278'dir ve bu gruptaki aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu 4 kg olarak belirlenmiştir. Kadın katılımcıların sayısı ise 131'dir ve bu grup için aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu 2 kg olarak hesaplanmıştır. Benzer çalışmalarda görüldüğü gibi (Aygün, 2008; Akçay ve Vatanserver, 2013) Türkiye'de genel bir tüketim davranışı olarak erkekler kadınlara kıyasla daha fazla kırmızı et tüketmektedir. Bu göstergeye bakıldığında, beslenme ve diyetle kadın ve erkek arasında kırmızı et tüketim davranışının toplumsal cinsiyet rolleri ve eşitsizliğiyle ilişkili olduğu ifade edilebilir. (Sobal, 2005; Burgan, 2015; Dowsett ve ark., 2018; Çapar, 2020). Çünkü geleneksel normlarda erkekler, güç simgesi olarak et tüketirken, kadınlar diyet ve sağlıklı beslenme ile ilişkilendirilerek genellikle sebze tercih eder. Bu durum, erkeklerin daha fazla ve kadınların daha az kırmızı et tüketmesine yol açabilir. Ayrıca, erkeklerin aile reisi rolü gereği daha fazla gelir elde etmesi, et alımını artırırken, kadınların beslenme ihtiyaçlarının göz ardı edilmesi de kırmızı et tüketimini azaltabilir.

Yaş faktörü incelendiğinde; 31-43 yaş aralığındaki katılımcıların sayısı 232'dir ve bu grup diğer yaş gruplarına göre çoğunluğu oluşturmaktadır. Bu gruptaki aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu ise 3 kg olarak belirlenmiştir.

Eğitim düzeyi faktörüne göre, lise mezunlarının sayısı 88'dir ve bu grup diğer eğitim grupları içinde en fazla katılım sağlayan gruptur. Lise mezunları için aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu 3 kg olarak hesaplanmıştır.

Gelir seviyesine göre; 20.001-26.000 TL gelir grubuna dâhil olan katılımcılar 135 kişidir ve bu grup çoğunlukta olup aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu 3 kg olarak belirlenmiştir.

Medeni duruma göre, evli olan katılımcıların sayısı 304'tür ve bu grup diğer medeni durumlara göre çoğunlukta. Evli katılımcılar için aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu 3 kg'dır. Medeni durumu evli olan kişilerin beslenme kompozisyonunda kırmızı et daha fazla yer almaktadır (Sobal, 2005).

Meslek dağılımı incelendiğinde; kamu çalışanlarının sayısı 87'dir ve bu grup en fazla katılımcıya sahiptir. Kamu çalışanları için aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu 4 kg olarak hesaplanmıştır. Tüketimin sınıfsal boyutu olarak ortalama aylık sabit bir gelir ile geçinen birey ve gruplarda kırmızı ete ulaşım anlamında diğer mesleklere göre daha fazla olduğu sonucuna varılabilir (Bourdieu, 1984; Einhorn, 2021).

Tablo 3. Tüketicilerin sosyoekonomik verileri

Demografik Faktörler		Kırmızı et tüketim miktarı									Toplam (n)
		1kg	2kg	3kg	4kg	5kg	6kg	7kg	8kg	9kg	
Cinsiyet	Erkek	24	52	60	68	51	12	7	3	1	278
	Kadın	21	36	35	22	13	2	1	1	0	131
Yaş	18-30	21	23	15	16	10	1	0	0	0	86
	31-43	20	53	59	50	32	11	5	2	0	232
	44-62	4	12	21	24	22	2	3	2	1	91
Eğitim Durumu	Okur-Yazar değil	0	6	1	1	3	1	0	0	0	12
	Okur-Yazar	2	6	19	15	7	3	1	0	0	53
	İlkokul	3	17	17	11	10	2	0	2	0	62
	Ortaokul	0	11	12	9	7	3	1	0	0	43
	Lise	12	17	23	24	7	3	2	0	0	88
	Ön lisans	10	6	7	8	8	6	1	0	0	38
	Lisans	8	12	7	11	9	0	1	1	1	50
	Lisansüstü	10	13	9	11	15	1	3	1	0	63
Hanedeki Kişi sayısı	1-4	22	53	39	38	33	6	3	1	0	195
	5-8	22	34	55	50	28	7	5	3	1	205
	9-12	1	1	1	2	3	1	0	0	0	9
Hane Ortalama Gelir (₺)	8000 ve altı	8	1	2	3	1	0	0	0	0	15
	8001-14000	7	6	1	1	1	0	0	0	0	16
	14001-20000	13	29	25	12	10	0	0	0	0	89
	20001-26000	4	24	37	35	21	10	3	1	0	135
	26001-32000	3	12	12	13	11	1	2	0	0	54
	32001-38000	2	8	7	13	7	2	1	2	1	43
	38001-44000	2	4	3	3	2	0	0	0	0	14
	44001-50000	2	1	2	4	7	1	2	0	0	19
	50001 ve üstü	4	3	6	6	4	0	0	1	0	24
Medeni Durum	Evli	21	62	75	65	56	13	8	3	1	304
	Bekâr	23	22	17	21	8	1	0	1	0	93
	Boşanmış	1	4	3	4	-	-	-	-	-	12
Meslek	Öğrenci	12	7	2	3	3	0	0	0	0	27
	Çalışmıyor	7	9	3	4	3	0	0	0	0	26
	Çiftçi	0	0	1	2	3	1	0	0	0	7

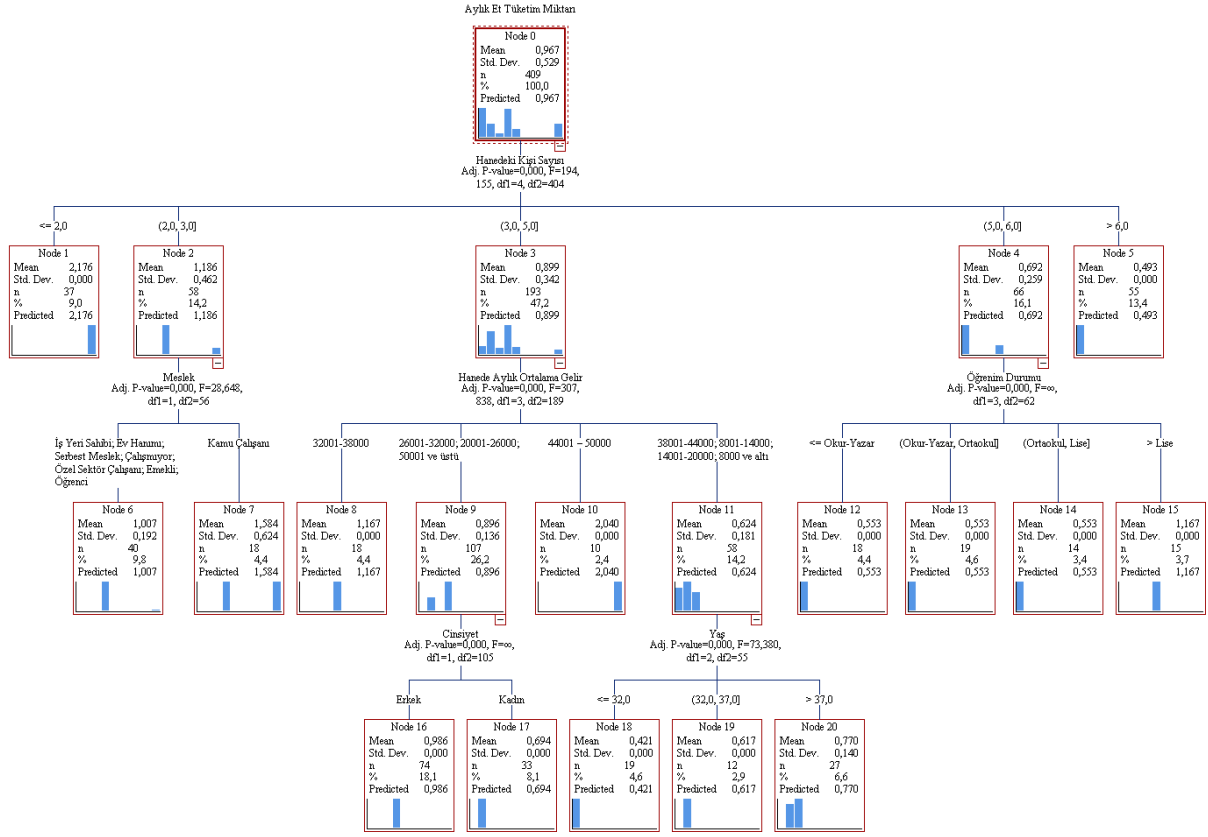
Kamu Çalışanı	8	19	12	18	22	1	4	2	1	87
Özel Sektör	12	12	17	10	5	0	1	0	0	57
İş Yeri Sahibi	1	8	17	30	13	5	2	0	0	76
Serbest Meslek	1	16	20	10	5	4	1	1	0	58
Emekli	0	0	2	0	2	0	0	0	0	4
Ev Hanımı	4	17	21	13	8	3	0	1	0	67
<hr/>										
Kent Merkezi	34	81	90	79	58	11	6	3	0	362
İkametgâh İlçe Merkezi	6	4	3	5	3	0	0	1	0	22
Kırsal Alan	5	3	2	6	3	3	2	0	1	25

İkametgâh faktörüne göre kent merkezinde yaşayan katılımcıların sayısı 362'dir ve bu grup en fazla çoğunluğa sahiptir. Bu gruptaki aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu 3 kg olarak belirlenmiştir. Kentsel mekânda yaşayan katılımcılarda kırmızı et tüketiminin ilçelere oranla daha az olduğu söylenebilir.

Türkiye'de hane halkı büyüklüğü 3,14 olarak saptanmıştır. Türkiye'de geniş ailelerden oluşan hane halkı oranı sıralamasında Iğdır beşinci sırada yer almaktadır. Türkiye'de geniş ailelerden oluşan hanelerde yoksulluk %25,7 oranındadır (TÜİK, 2023). Gerçekleştirilen bu saha çalışmasında Iğdır'da hane büyüklüğü faktöründe, 5-8 kişilik hanelerde yaşayan katılımcıların sayısı 205'tir ve bu grup en fazla katılımcıya sahiptir. Bu gruptaki aylık ortalama kırmızı et tüketim yoğunluğu ise 2 kg'dır.

Şekil 1'deki sonuçlar göz önüne alındığında, kırmızı et tüketimi sosyoekonomik faktörlere göre önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Erkekler, 31-43 yaş arası katılımcılar, lise mezunları, 5-8 kişilik hanelerde yaşayanlar, 20.001₺-26.000₺ gelir grubuna dâhil olanlar, evliler, kamu çalışanları ve kent merkezinde yaşayanlar hem katılım çoğunluğunu hem de kırmızı et tüketimindeki yoğunluğu oluşturmaktadır.

Şekil 1'de Exhausted CHAID algoritması ile şekillenen regresyon ağacı diyagramında anketi cevaplayan 409 kişi ortalama 0,967 kg kırmızı et tüketimi gerçekleştirmişlerdir. Kırmızı et tüketimini etkileyen faktörler; hanedeki kişi sayısı, meslek, hanede aylık ortalama gelir, öğrenim durumu, cinsiyet ve yaş değişkenleri olmuştur. Exhausted CHAID algoritması ile oluşan regresyon ağacı üç ağaç derinliğinden oluşmaktadır.



Şekil 1. Kırmızı et tüketimini etkileyen faktörlerin regresyon ağacı

Hanedeki kişi sayısı ≤ 2 (Node 1) olduğunda kırmızı et tüketimi ortalama 2,176 kg iken, hanedeki kişi sayısı >6 olduğunda (Node 5) kırmızı et tüketimi ortalama 0,493 kg olarak ortaya çıkmaktadır. Hanedeki kişi sayısı 3 olduğunda (Node 2) kırmızı et tüketimi ortalama 1,186 kg olarak görünmekte ve meslek değişkeninden iki dal olarak dallanmaktadır. Kamu çalışanları ortalama 1,584 kg tüketirken (Node 7) diğer meslek grupları ortalama 1,007 kg tüketim (Node 6) gerçekleştirmişlerdir. Hanedeki kişi sayısı 4 ve 5 kişi olduğunda (Node 3) kırmızı et tüketimi ortalama 0,899 kg olarak ortaya çıkmakta ve hanede aylık ortalama gelir değişkeninden dört dal olarak dallanmaktadır. Hanede aylık ortalama gelir 44001₺ -50000₺ olanlar (Node 10) kırmızı et tüketim miktarı ortalama 2,040 kg olarak ortaya çıkmaktadır. Hanede aylık ortalama gelir 20001₺ -26000₺; 26001₺ -32000₺; 50001₺ ve üstü olanlar (Node 9) ortalama 0,896 kg kırmızı et tüketimi gerçekleştirmiş ve cinsiyet değişkeninden dallandığı görülmüştür. Erkekler ortalama 0,986 kg kırmızı et tüketirken (Node 16) kadınlar 0,694 kg kırmızı et tüketimi gerçekleştirmişleridir (Node 17). Aylık geliri 8000₺ ve altı; 8001₺ -14000₺; 14001₺ -20000₺ ve 38001₺ -44000 ₺ olanlar (Node 11) 0,624 kg kırmızı et tüketimi gerçekleştirmiş ve yaş değişkeninden üç dala ayrıldığı görülmektedir. Yaşları >37 olanlar ortalama 0,770 kg kırmızı et tüketirken (Node 20) diğerlerinin (Node 18-19) daha az tükettikleri ortaya çıkmıştır. Hanedeki kişi sayısı 6 olanlar ortalama 0,692 kg kırmızı et tüketmiş ve öğrenim durumundan dört dala ayrılmıştır. Öğrenim düzeyi lise mezunu olanlar ortalama 1,167 kg kırmızı et tüketimi gerçekleştirmiş ve diğer eğitim durumlarından daha fazla tükettiği görülmüştür.

Tarım ve Orman Bakanlığı'nın 2023 yılı için Türkiye genelinde kişi başı 25,48 kg olarak tahmin ettiği yıllık kırmızı et tüketimiyle kıyaslandığında, Iğdır'ın 11,60 kg gibi düşük bir tüketim seviyesine sahip olduğu görülmektedir. Iğdır ilindeki düşük kırmızı et tüketimi hem sosyoekonomik faktörlerin hem de hayvancılıktaki düşüşün bir sonucu olarak Türkiye ortalamasının oldukça altında kalmaktadır. Hanehalkı gelir düzeyi, eğitim seviyesi ve meslek gibi değişkenler, bireylerin et tüketimi kararlarını doğrudan etkileyebilir. Düşük gelirli haneler, genellikle daha pahalı olan kırmızı ete erişimde zorlanırken, yüksek eğitilmiş bireyler sağlıklı beslenme konusunda daha bilinçli olabilir ve et tüketimini sınırlayabilir. Ayrıca, hanedeki birey sayısı ve yaş da önemli olabilir. Büyük ailelerde bütçe kısıtlamaları nedeniyle et tüketimi azalırken, yaşlı bireyler genellikle daha az et tüketebilir. Iğdır'da hayvancılığın gerilemesiyle birlikte et fiyatlarının artması, bu sosyoekonomik zorlukları daha da derinleştirmiş ve tüketimi sınırlamış olabilir. Bu durum hem beslenme alışkanlıklarını hem de bölgenin ekonomik yapısını olumsuz etkileyebilecek bir sonucu doğurabilir. Literatür incelendiğinde sosyoekonomik yapının tüketimi etkilediği araştırmalar mevcuttur (Karakuş ve ark., 2008; Onurlubaş, 2011; Özyürek ve ark., 2019; Saygın Alparslan ve Demirbaş, 2019; Örük, 2020; TÜİK, 2024).

Tablo 4. Kırmızı etin tercih edilme davranışları*

		n	%
Kırmızı et tüketme nedeni	Sağlıklı olması	74	11,14
	Lezzetli olması	325	48,95
	Besleyici olması	189	28,46
	Alışkanlık	76	11,45
Tercih edilen öncelikli et türü	Kırmızı et	365	72,28
	Deniz Ürünleri eti	40	7,92
	Kümes Hayvanları eti	100	19,80
Tercih edilen kırmızı et türü	Koyun eti	308	38,89
	Kuzu eti	76	9,60
	Keçi eti	154	19,44
	Dana eti	92	11,62
	Sığır eti	136	17,17
	Oğlak eti	24	3,03
	Deve eti	2	0,25
Kırmızı et tüketim sıklığı	Günlük	18	4,40
	Haftalık	274	66,99
	Aylık	62	15,16
	Nadiren	55	13,45
Kırmızı et tüketim şekli	Fırında	174	23,02
	Haşlama	277	36,64

	Yağda kızartmalık	120	15,87
	Mangalda	185	24,47
İşlenmiş kırmızı et tüketimi	Sucuk	317	57,12
	Salam	130	23,42
	Köfte	59	10,63
	Sosis	41	7,39
	Tüketmiyorum	8	1,44

*(Birden fazla cevap alınmıştır).

Kırmızı et tüketim tercihlerinde lezzet (n=325, %48,95) en çok önem verilen faktör iken tüketim şekli olarak haşlama (n=277, %36,64) ilk sırada ve mangal (n=185, %24,47) ikinci sırada gelmektedir. Bu bulgunun damak tadından kaynaklandığı öngörülebilir. Literatüre bakıldığında Orak ve ark. (2006) damak tadının kırmızı et tüketiminde önemli olduğunu ifade ederek bulgumuzu destekler niteliktedir. Buna karşın Kaygısız ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada kırmızı et tüketim tercihinin besleyici olması (%40,1) ile öne çıktığını, tüketim şeklinin ise daha çok mangal (%31,9) olarak belirlendiğini ifade etmişlerdir.

Tüketicilerin ilk tercihi kırmızı et (n=365, %72,28) olarak belirlenmiştir. Kaygısız ve ark. (2021) araştırmalarında kırmızı et tercihinin %48,3 ile ilk sırada yer aldığını, ardından %21 ile beyaz et ve %16 ile balık etinin geldiğini ifade etmişlerdir. Aygün ve ark. (2004) Van İl'inde ve Karakuş ve ark. (2008) Gaziantep İl'inde kırmızı etin öncelikli olarak tüketildiğini belirtmişlerdir.

Kırmızı et tercihlerinde birinci sırada (n=308, %38,89) koyun eti, ikinci sırada (n=154, %19,44) keçi eti, üçüncü sırada (n=136, %17,17) ise sığır eti yer almaktadır. Bu durum Iğdır İl'indeki kırmızı et tüketicilerinin küçükbaş hayvan etini daha çok sevdiklerini gösterebilir. Literatür incelendiğinde, Karakuş ve ark. (2008) Gaziantep'te halkın koyun etini tercih etme nedeninin koyun etini severek tüketmeleri ve lezzetli bulmalarından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Aygün ve ark. (2004) Van İl'inde ve Karakuş ve ark. (2008) Gaziantep İl'inde koyun etinin daha çok tercih edildiğini ifade etmişlerdir. Bulgumuzun aksine Yaylak ve ark. (2010) ile Kaygısız ve ark. (2021) ise çalışmalarında öncelikli olarak sığır etinin tercih edildiğini belirtmişlerdir. Nitekim Türkiye'de 2023 yılında gerçekleştirilen toplam kırmızı et üretiminin %70,1'i sığır etinden, %23,9'u koyun etinden, %5,4'ü keçi etinden ve %0,6'sı manda etinden oluşmaktadır. Bu veriler, ülkenin kırmızı et üretimindeki hayvansal bileşimini açıkça göstermektedir. Sığır eti, üretimde belirleyici bir paya sahipken, koyun eti de önemli bir katkı sağlamaktadır. Keçi ve manda eti ise üretimde daha küçük ancak belirgin bir yer tutmaktadır (TÜİK, 2024)

Haftalık kırmızı et tüketimi (n=274, %66,99) en sık tercih edilen sıklıktır, onu aylık tüketim (n=62, %15,16) izlemektedir. Bu bulgu kırmızı etin her gün tüketilmesi yerine hafta içinde günlere yayılarak tüketildiğini ve sosyoekonomik yapıdan kaynaklandığını düşündürmektedir. Literatürde benzer çalışmalar görülmektedir. Karakuş ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada tüketicilerin %65,7'sinin

haftada 1-3 defa, Kızıloğlu ve Kızıloğlu (2013) hanelerin %18,12'sinin ayda bir, %32,75'inin on beş günde bir, %36,24'ünün ise haftada bir kırmızı et tükettiklerini belirtmişlerdir.

İşlenmiş kırmızı et tüketiminde; birinci sırada (n=317, %57,12) sucuk, ikinci sırada (n=130, %23,42) salam yer almaktadır. Sucuk genelde en sevilen işlenmiş kırmızı et olarak görülebilir. Literatürde bulgumuza benzer çalışmaların olduğu görülmüştür. Saygın Alparslan ve Demirbaş (2019) en sık satın alınan ve tercih edilen işlenmiş kırmızı et ürününün dana sucuğu olduğunu ifade etmişlerdir.

Tablo 5. Kırmızı etin satın alınma davranışları*

		n	%
Kırmızı et temin etme durumu	Satın alarak	396	91,45
	Kendi hayvanımdan	22	5,08
	Konu-komşunun yaptığı hayırlardan	10	2,31
	Dernek-STK veya Devlet yardımlarından	5	1,15
Kırmızı etin satın Alındığı yer	Üreticiden canlı alırım	34	7,23
	Belli bir kasaptan	309	65,74
	Marketlerden	51	10,85
	Rastgele bir kasaptan	66	14,04
	Et ve Balık Kurumundan	10	2,13
Etin satın alınma yerini tercih etme sebebi	Ucuz	163	20,12
	Güvenilir	233	28,77
	Sağlıklı	159	19,63
	Satıcının tanıdık olması	57	7,04
	Oturduğumuz yere yakın olması	43	5,31
	Ürünün kaliteli olması	90	11,11
	Çok çeşit bulunması	65	8,02
Kırmızı et satın alırken dikkat edilen faktörler	Tazeliğine	295	41,26
	Fiyatına	255	35,66
	Yağsız olmasına	38	5,31
	Hayvanın genç/yaşlı olmasına	65	9,09
	Satıcının güvenilir olmasına	61	8,53
	Etlerde katkı maddesi bulunmamasına	1	0,14
Kırmızı eti satın alma şekli	Kıyma	300	40,16
	Kemiksiz	261	34,94
	Kemikli	155	20,75
	Karkas	11	1,47
	Porsiyonluk	9	1,20
	Sakatat	11	1,47

*(Birden fazla cevap alınmıştır).

Tüketicilerin %91,45'i (n=396) kırmızı eti satın alarak temin etmektedir. Çalışmada tüketicilerin %65,74'ünün (n=309) kırmızı eti belli bir kasaptan satın aldığını, %28,77'sinin (n=233) ise aldığı yeri güvenilir bulduğundan tercih ettiklerini göstermektedir. Ayrıca kırmızı et satın alınırken en çok tazeliğine (n=295, %41,26) dikkat edilmektedir. Aynı kasaptan kırmızı et alınma nedeni güvenli ve taze olmasından kaynaklanabilir. Literatür incelendiğinde bulguya yönelik benzer çalışmaların olduğu görülmüştür. Kaygısız ve ark. (2021) tüketicilerin eti belirli bir kasaptan satın aldığını (%51,9) ve bunun nedeninin güvenden (%71) kaynaklandığını belirtmişlerdir. Özyürek ve ark. (2019) çalışmalarında tüketicilerin büyük marketleri değil de kasapları tercih etmesinin nedenleri arasında ürünlerinin taze, Taşkın ve ark. (2019) ise hijyenik (%82,6) olmasının geldiğini belirtmişlerdir.

Tüketicilerin kırmızı eti genellikle kıyma şeklinde (n=300 %40,16) tedarik ettiği gözlemlenmektedir. Literatür incelendiğinde benzer sonuçların olduğu görülmüştür (Saygın Alparslan ve Demirbaş, 2019; Taşkın ve ark, 2019; Kaygısız ve ark., 2021). Bulgumuzun aksine çalışmalarda mevcuttur. Kibar ve ark. (2019) tüketicilerin kırmızı eti sırasıyla kemikli, kemiksiz veya kıyma şeklinde aldıklarını ifade etmişlerdir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma, tüketicilerin kırmızı et tercihlerini ve tüketim alışkanlıklarını detaylı bir şekilde incelemektedir. Çalışmada, katılımcıların büyük çoğunluğunun kırmızı eti satın alırken belirli bir kasabı tercih ettiği ve genellikle taze olarak, çoğunlukla kıyma şeklinde aldıkları belirlenmiştir. Koyun eti en çok tercih edilen kırmızı et türü olarak öne çıkarken, lezzet kırmızı et seçiminde en belirleyici faktör olmuştur. Ayrıca, kırmızı et tüketiminde belirgin demografik faktörler arasında erkekler, 31-43 yaş arası bireyler, lise mezunları, orta gelir grubundaki kişiler, evli olanlar, kamu çalışanları ve şehir merkezlerinde yaşayanlar öne çıkmaktadır. Bu bulgular, kırmızı et pazarlaması ve tüketim alışkanlıklarının yönetilmesi için önemli ipuçları sunabilir. Bu araştırmaya göre Iğdır İl'inde et tüketiminin yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Demografik faktörlerin regresyon ağacı sonucunda, tüketicilerin tercihlerini anlamak ve bu doğrultuda uygun çözümler sunmanın, gelecekteki stratejilerin geliştirilmesi için kritik öneme sahip olduğu ortaya çıkabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Kaynakça

- Acıbuca V., Kaya A. Mardin ili Artuklu ilçesinde tüketicilerin kırmızı et tüketim tercihi ve alışkanlıkları. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2023; 38(2): 244-253.
- Aksoy M., Karademir B., Kadirhanoğulları İH. Organic agriculture comprehension of soil agriculture farmers in Amasya province of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2021; 9(11): 2065-2072.
- Alkaya, A. Örnekleme kuramında ağırlıklandırma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 24, Ankara, Türkiye, 2009.
- Anonim. <https://www.nufusu.com/il/igdir-nufusu> (Erişim Tarihi: 28.06.2024)
- Aygün T., Karakuş F., Yılmaz A., Gökdal Ö., Ülker H. Van İli merkez ilçede kırmızı et tüketim alışkanlığı. IV. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, 1-3 Eylül 2004, sayfa no: 361- 364, Isparta.
- Bourdieu P. Distinction a social critique of the judgement of taste. In: *Inequality*. Routledge, 2018. p. 287-318.
- Burgan E. İlk kültürel gereç çuval ise: Erkeklik ve et yemenin kesışimselliğinde bilimsel anlatıların kuruluşu. *Fe Dergi* 2015; 7(2): 34-47.
- Çalış A., Kayapınar S., Çetinyokuş T. Veri madenciliğinde karar ağacı algoritmaları ile bilgisayar ve internet güvenliği üzerine bir uygulama. *Endüstri Mühendisliği Dergisi* 2014; 25(3): 2-19.
- Çarpar MC. Beslenme, kimlik ve erkeklik: Et yemenin sosyolojisi. *İstanbul Üniversitesi Sosyoloji Dergisi* 2020; 40(1): 249-277.
- Delgado CL. Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution 1, 2. *The Journal of Nutrition* 2003; 133(11): 3907S-3910S.
- Dowsett E., Semmler C., Bray H., Ankeny RA., Chur-Hansen A. Neutralising the meat paradox: Cognitive dissonance, gender, and eating animals. *Appetite* 2018; 123(1): 280-288.
- Einhorn L. Meat consumption, classed? *Österreich Z Soziol* 2021; 46, 125-146.
- Eyduran E. ehaGoF: Calculates goodness of fit statistics. R package version 0.1.1, 2020. <<https://CRAN.R-project.org/package=ehaGoF>>. (Erişim Tarihi: 28.06.2024)
- FAO The state of food security and nutrition in the world, 2023; <https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world/en>. (Erişim Tarihi: 28.06.2024).
- FAO. <http://www.fao.org/3/cb1329en/CB1329EN.pdf>. 2020. (Erişim Tarihi: 28.06.2024)
- Franck K. The city as dining room, market and farm. *Architectural Design*, 2005.
- Grzesiak W., Zaborski D. Examples of the use of data mining methods in animal breeding. *Data mining applications in engineering and medicine*, 2012. Pages 303-324.
- Kadirhanoğulları MK., Kadirhanoğulları İH., Karadaş K. Tüketicilerin organik gıda ürün reklamından etkilenme faktörleri: Iğdır ili örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022a; 59(1): 161-170.

- Kadirhanoğulları İH., Kadirhanoğulları MK., Kara MK., Kumlay A. Iğdır İl'inde organik gıda bilgi düzeyinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi 2022b; 25(4): 882-889.
- Karadas K., Kadirhanogullari IH. Predicting honey production using data mining and artificial neural network algorithms in apiculture. Pakistan Journal of Zoology 2017; 49(5): 1611-1619.
- Karakuş K., Aygün T. Alarşlan E. Gaziantep ili merkez ilçede kırmızı et tüketim alışkanlıkları. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi 2008; 18(2): 113-120.
- Kızıloğlu S., Kızıloğlu R. Erzurum merkez ilçede et ve ithal et tüketme durumunu inceleyen bir araştırma, Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2013; 3(1): 61-68.
- Kibar M., Mikail N., Yılmaz A. Siirt ili merkez ilçede kırmızı et tüketim alışkanlıkları ve tüketimi etkileyen faktörler. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2019; 6(4): 720-728.
- Koç Y., Eyduram E., Akbulut O. Application of regression tree method for different data from animal science. Pakistan Journal of Zoology 2017; 49(2): 599-607.
- Lefevbre H. Kentsel devrim. Sel Yayıncılık: İstanbul 2021.
- Miladinov G. Impacts of population growth and economic development on food security in low-income and middle-income countries. Frontiers in Human Dynamics 2023; 5, 1121662.
- Nungesser F., Winter M. Meat and social change. Sociological perspectives on the consumption and production of animals. Österreichische Zeitschrift für Soziologie 2021; 46: 109-124.
- Onurlubaş E. Tüketicilerin gıda güvenliği konusunda bilinç düzeylerinin ölçülmesi: Tokat ili. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sayfa no:180, Tokat, Türkiye, 2011.
- Orak S., Akgün S., Orhan H. Süleyman Demirel Üniversitesi öğrencilerinin beslenme alışkanlıklarının araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi 2006; 13(2): 5-11.
- Örük G. Üniversite öğrencilerinin hayvansal ürün tüketim alışkanlıkları: Siirt Üniversitesi örneği. Hayvansal Üretim 2021; 62(1): 45-52.
- Özyürek S., Çebi K., Türkyılmaz D., Esenbuğa N., Dağdelen Ü., Yaprak M. Erzincan ilinde kırmızı et tüketim alışkanlıkları ve tüketicilerin ithal kırmızı ete bakış açılarının değerlendirilmesi. Erzincan University Journal of Science and Technology 2019;12(1): 263-273.
- Polat M. Strategic analysis of individuals'smartphone preferences through chaid algorithm. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi 2023; 41: 124-145.
- Saygın Alparslan Ö., Demirbaş N. Sağlık meslek mensuplarının kırmızı et ve işlenmiş kırmızı et tüketim tercihleri. Hayvansal Üretim 2019; 60(2): 105-110.
- Sevgenler H. Keçilere ait kimi özelliklerin canlı ağırlık üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kullanılan veri madenciliği algoritmalarının (Cart, Chaid ve Mars) karşılaştırılması. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 70, Iğdır, Türkiye, 2019.
- Sezer ZA. Çıplak istatistik'e bakış. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2023; 23(3): 1025-1034.

- Sobal J. Men, meat, and marriage: Models of Masculinity, Food and Foodways 2005; 13(1-2): 135-158.
- SurveyMonkey. <https://tr.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/> 2024. (Erişim Tarihi 25.06.2024)
- Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Menu/36/Durum-Ve-Tahmin-Raporlari> 2024. (Erişim Tarihi 02.07.2024)
- Taşkın T., Engindeniz S., Gbadamonsi AA., Kandemir Ç., Koşum N. Gençlerin kırmızı et tüketim tercihlerinin analizi: Ege Üniversitesi öğrencileri örneği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2020; 57(1): 63-72.
- Tatlıyer A. Kuzularda yetiştirme tipinin regresyon ağacı algoritmaları tahmin performansına etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi 2020; 23(3): 772-780.
- Tosun ÖO., Hatırlı A. Tüketicilerin kırmızı et satın alım yerleri tercihlerinin analizi: Antalya ili örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2009; 14(2): 433-445.
- TRT Haber. Türkiye'nin etini İstanbullu yiyor. 2016; <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turkiyenin-etini-istanbullu-yiyor-231641.html>. (Erişim Tarihi: 25.06.2024).
- TUİK. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kirmizi-Et-Uretim-Istatistikleri-2023-53540> 2024. (Erişim Tarihi: 28.06.2024).
- TUİK. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2023> 2023. (Erişim Tarihi: 28.06.2024).
- Tunaz AT., Kaygısız A., Arslan O. Tüketicilerin kırmızı et tüketimi ve hayvan refahı konusundaki bilinç düzeylerinin araştırılması. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2022; 53(1): 24-30.
- Yaylak E., Taşkın T., Koyubenbe N., Konca Y. İzmir ili ödemiş ilçesinde kırmızı et tüketim davranışlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Hayvansal Üretim 2010; 51(1): 21-30.

Doğu Anadolu Kırmızısı Genç Boğalarda Bazı Dönemsel Canlı Ağırlıklar ve Karkas Ölçüleri Arasındaki İlişkinin Kanonik Korelasyon Analizi ile Belirlenmesi

Sadrettin YÜKSEL^{1*}

¹Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, Erzurum

¹<https://orcid.org/0009-0001-0948-0800>

*Sorumlu yazar: syuksel@atauni.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 26.12.2024

Kabul tarihi: 19.02.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Kanonik korelasyon

Kanonik değişken

Canlı ağırlık

Karkas ölçüleri

DAK

ÖZ

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Kırmızısı (DAK) genç sığırlara ait farklı dönemsel canlı ağırlıklar (doğum ağırlığı (DA), süten kesim ağırlığı (SKA), yirmi aylık yaş ağırlığı (YAA)) ve seçilmiş karkas ölçüleri değerleri (karkas uzunluğu (KU), but uzunluğu (BU), but genişliği (BG)) arasındaki çok değişkenli ilişkilerin araştırılması amaçlanmıştır. Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde kayıtlı 17 baş DAK erkek genç sığırın verileri kullanılmıştır. Hayvanlarda canlı ağırlığa dayalı özellikler (Prediction set, U) ve karkas ölçülerine dayalı özellikler (Criterion set, V) arasındaki korelasyonlar değerlendirilmiştir. Ele alınan veri setlerinin değerlendirilmesi ve aralarındaki korelasyonu belirlemek için kanonik korelasyon analizi uygulanmıştır. Üç çift kanonik boyuttan ilki (U1V1) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,01$; 0,829). Standardize edilmiş kanonik katsayılar, SKA ve YAA'nın U1 belirlemede diğer özellikten daha etkili olduğunu göstermiştir (sırasıyla 0,986 ve 0,845). Kanonik yük, SKA, YAA'nın U1 belirlemede daha etkili olduğunu (sırasıyla 0,998 ve 0,999), KU ve BG'nin ise V1'de diğer özellikten daha etkili olduğunu göstermiştir (sırasıyla 0,448 ve 0,287). Çapraz yüklemeler, SKA ve YAA'nın U1 belirlemede diğer özellikten daha etkili olduğunu göstermiştir. Varyasyon oranı açısından değişken setleri arasında çoğunlukla benzer değerler bulunmuştur. Sonuç olarak, farklı dönem canlı ağırlıkları ve karkas ölçüleri arasındaki ilişki ölçeğinin boyutu, rantabl üretimi hızlandırmak ve generasyon aralığını azaltmak için çok önemli bulunmuştur.

Determination of the Relationships Between Some Periodic Live Weights and Carcass Measurements in Young Eastern Anatolian Red Bulls by Canonical Correlation Analysis

Research Article

Article History:

Received: 26.12.2024

Accepted: 19.02.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Canonical correlation

Canonical variety

Live weight

Carcass measurement

EAR

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the multivariate relationships between the different live weights (birth weight (BW), weaning weight (WW), weight at twenty months of age (TMW)) and selected carcass measurements (carcass length (CL), rump length (RL), rump width (RW)) of young Eastern Anatolian Red (EAR) cattle. Data from 17 young male Eastern Anatolian Red cattle registered at the Eastern Anatolian Agricultural Research Institute were used. The correlations between the traits based on live weight (prediction set, U) and the traits based on carcass measurements (criterion set, V) were evaluated. Canonical correlation analysis was used to evaluate the data sets and determine the correlation between them. The first of the three pairs of canonical dimensions (U1V1) was statistically significant ($P < 0,01$; 0,289). The standardized canonical coefficients showed that WW and TMW were more effective in determining U1 than the other traits (0,986 and 0,845, respectively). Canonical loadings showed

that WW and TMW were more effective at determining U1 (0,998 and 0,999, respectively), while CL and RL were more effective at V1 than the other traits (0,448 and 0,287, respectively). Cross-loadings showed that WW and TMW were more effective in determining U1 than the other trait. In terms of variation rate, mostly similar values were found between the variable sets. In conclusion, the size of the scale of the relationship between the different periods of live weight and carcass measurements was found to be very important in accelerating profitable production and reducing the generation interval.

To Cite: Yüksel S. Doğu Anadolu Kırmızısı Genç Boğalarda Bazı Dönemsel Canlı Ağırlıklar ve Karkas Ölçüleri Arasındaki İlişkinin Kanonik Korelasyon Analizi ile Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 823-832.

1. Giriş

Sığır eti üretimi, diğer entansif hayvansal ürün üretim sistemlerinin aksine, tek tip uygulama olmaktan ziyade, daha fazla entegrasyon gerektiren bir sektördür. Zira, bu sektörde üretimin her aşaması farklı kesimler tarafından yürütülmektedir (Anonymous, 2015). Genellikle, farklı yönetim girdileri, çevresel şartlar ve üretim yoğunlukları altında yetiştirilen sığırlar, son zamanlarda bazı gelişmiş ülkede daha çok et üretimi veya bazı durumlarda ise süt üretimi gibi tek bir amaç için seçilmektedir (Anonymous., 2015). Sığır eti üretim sektöründe, elde edilmesi düşünülen nihai ürün, üretim sistemleriyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle, bu sektörde sürdürülebilir sonuçlara erişebilmek için karkasın bütün özelliklerinin miktar ve kalite bakımından dikkate alınması önemli bir gerekliliktir. Nitekim karkas özellikleri, hayvanın ırkı, yaşı, kesim ağırlığı, besleme sistemi ve kesim özellikleri gibi karakterler arasında korelasyon değerinin hesaplanmasına ve elde edilen korelasyon katsayılarının değişkenler arasında karşılaştırma yapılmasına imkan tanımaktadır (Silva ve Pires, 2000). Böylece tüketici talepleri doğrultusunda et üretimine yönelik bir sığır popülasyonunun oluşturulması, hayvan materyaline ait karakterlerin belirlenmesi, sistematik bir modelin uygulanması ve bütün bunların sonucunda, standartları karşılayamayan hayvanların önceden ayıklanması imkanı elde edilmiş olunacaktır.

Karkas değerlendirme çalışmaları genellikle çok sayıda özellik dikkate alınarak yapılmaktadır (Barbosa ve ark., 2005). Bileşenler arasındaki ilişkinin boyutunu ve yönünü sağlıklı bir biçimde belirlemede ise çok değişkenli veri analizi teknikleri etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Nitekim çok değişkenli analiz tekniği, deneysel bir çalışmadan elde edilen çoklu bilgilerin bir kombinasyonunu gerekli hallerde ise deneysel bulguların sonuçlarının değerlendirilmesi için temel değişkenlerin bir matrisine dayalı olarak, biyolojik olayları ilişkilendirmek veya tanımlamak için etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Dillon ve Goldstein, 1984). Bu bağlamda kanonik korelasyon analizi, iki grup için ortak varyans yüzdesini nesnelleştirmenin yanı sıra, iki değişken kümesi arasındaki karşılıklı ilişkiyi de belirleyen bir teknik olarak kullanılmaktadır (Bae ve ark., 2020). Genel bir projeksiyon olarak değişken kümelerinden ilkinin U karakteri, ikincisinin ise V karakteri ile oluşturulduğu benimsenmektedir. Kanonik korelasyonların sayısı, matristen (U veya V) birini oluşturan en küçük özellik sayısına eşit olur ve kapsamı bunların belirlendiği sıraya göre değişir.

Ülkenin kadim yerli sığır ırklarından biri olan Doğu Anadolu Kırmızısı (DAK) sığırının yeni üretim modelleri için ıslah materyali oluşturması önemlidir. Ancak bu tür çalışmalara ivme kazandıracak nitelikte bilimsel çalışmalar ve literatür bilgileri yeterli değildir. Bu gerekçeli olarak kurgulanan bu çalışmanın amacı, çok değişkenli istatistiksel teknik olan kanonik korelasyon analizi kullanarak, DAK genç sığırların DA, SKA, YAA ağırlıkları ve KU, BU, BG değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek ve böylece uygun hayvanı seçerek generasyon aralığını azaltmak için strateji belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın verileri, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde yetiştirilen 17 baş genç DAK hayvandan elde edilmiştir. Hayvanlar buzağılık döneminde 63 gün süreyle analarını emerek ve ilaveten birinci haftadan itibaren konsantre-I (kuru madde (KM) %88,0; ham protein (KP) %18,0; kül 7,1) ve *ad libitum* kuru ot (KM %92,26; KP %10,13; Asit Deterjan Fiber (ADF) %39,55; Nötr Deterjan Fiber (NDF) %62,4; kül %10,4) ve temiz su ile beslenmişlerdir. 63 günlük yaşta sütten kesilen buzağılar tartılmış ve 180. güne kadar benzer koşullar altında bireysel bölmelerde barındırılmışlardır. Hayvanlara 63 günlük yaştan 180 güne kadar 2 kg/gün konsantre II (KM % 88,0; HP % 17,7; kül % 7,7), *ad libitum* kuru çayır otu ve yulaf (KM % 30,0; HP % 11,30; ADF % 37,82; NDF % 54,0; kül % 8,98) verilmiştir. Daha sonra 20 aylık yaşa kadar grup halinde, hayvan başına 4 kg/gün/baş olacak şekilde, konsantre III (KM % 90,25; HP % 16,45; kül % 9) ve *ad libitum* kuru ot ve yulaf ile beslenmişlerdir. Kesimden bir gün önce her bir hayvan iki kez tartılmış ve kesim ağırlığı belirlenmiştir. Tüm hayvanlar 20 aylık yaşta Erzurum Et ve Süt Kurumu'nda kestirilmiştir. Karkaslar, 4 °C'de 24 saat dinlendirilmiştir. Bu sürenin sonunda herbir karkasa ait karkas uzunluğu (KU), but uzunluğu (BU) ve but genişliği (BG) ölçümleri alınmıştır (USDA, 1989).

Araştırma verilerinin istatistiksel değerlendirmelerinde U ve V harfleri kanonik değişkenleri ifade edecek biçimde kurgulanmıştır. Bu çalışmada DA, SKA, YAA (Predictor seti, U) ve KU, BU, BG (Criterion seti, V) arasındaki korelasyonu belirlemek için kanonik korelasyon analizi uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan hipotez ve kanonik korelasyon hesaplamalarını içeren eşitlikler aşağıdaki gibidir.

Kanonik katsayılar için istatistiksel hipotez:

$$H_0 = r_{c1} = r_{c2} = \dots = r_{cm} = 0 \quad (1)$$

$$H_1 \neq r_{ci} = 0 \text{ en az bir } i = 1, 2, \dots, k$$

Sıfır ve alternatif hipotezleri test etmek için Wilk'in Lambda (λ) testi:

$$\lambda_m = \prod_{i=1}^m (1 - \lambda_i) \quad (2)$$

Burada, λ_m = kanonik korelasyon katsayısı

λ_i = kanonik korelasyon karesi

m = kanonik korelasyon sayısı

Kanonik korelasyonların önemi için Ki-kare testi:

$$\chi^2 = - (N - 1 - \frac{(kx+ky+1)}{2}) \ln \lambda_m \quad (3)$$

Burada, N = durum sayısı,

K_x = U setindeki değişken sayısı (Predictor),

K_y = V setindeki değişken sayısı (Criterion)

Kanonik değişkenler (U ve V) için tahmin edilen değerler:

$$U = Z_u B_u \quad (4)$$

$$V = Z_v B_v \quad (5)$$

Burada; Z_u, Z_v = standarde edilmiş değer ve B_u, B_v = kanonik katsayılar

Değişkenler arasındaki korelasyon matrislerinin tahmini için matris yüklerinin ve kanonik katsayıların kullanımı:

$$A_u = R_{uu} B_u, A_v = R_{vv} B_v \quad (6)$$

$$p_{v_{xc}} = \sum_{i=1}^{k_x} a^2_{ixc} / k_x \quad (7)$$

$$p_{u_{yc}} = \sum_{i=1}^{k_y} a^2_{iyc} / k_y \quad (8)$$

$$rd = (p_v) (r^2_c) \quad (9)$$

Burada; p_{v_{cx}}, V_i kanonik değişkeni tarafından açıklanan U değişkenlerindeki ortalama varyans, k_x, belirtilen kanonik değişkenlerdeki özelliklerin sayısı, rd = redundancy

Bu araştırmada, Predictor setinde 3 canlı ağırlık değeri (DA, SKA, YAA) ve diğer sette 3 karkas ölçüsü değeri (KU, BU, BG) yer almıştır. Böylece, çift sayısı küme değişken sayılarının küçük olanına eşit olan bu kombinasyonlar kanonik değişken çiftlerinde birleştirilmiştir (U_k ilk küme, V_k ikinci küme). Bu çiftlerin her biri (U_k, V_k) bağımsız olarak farklı iki setin ilişkisini temsil edecek ve böylece (U₁, V₁)'nin karşılıklı kanonik korelasyonu en yüksek, U₂, V₂'nin sıralı hesaplamasındaki ise ikinci en yüksek değeri oluşturmuş olacaktır. Diğer yandan karakterler arasındaki doğrusal korelasyonu tanımlamak için Pearson korelasyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar SPSS 25.0 istatistik paket programı (SPSS, 2021) ile yapılmıştır.

3. Bulgular

Tablo 1, SKA ile YAA ve KU arasında anlamlı (P<0,05) yüksek pozitif korelasyon, DA ile SKA, YAA ile KU arasında ise yüksek korelasyon olduğunu göstermiştir. Benzer etkileşim BU ile BG arasında da söz konusu olmuştur.

Tablo 1. Özellikler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

	DA	SKA	YAA	KU	BU
SKA	0,701				
YAA	0,621	0,760*			
KU	0,456	0,854*	0,782		
BU	0,567	0,488	0,528	0,649	
BG	0,348	0,505	0,237	0,428	0,730

DA: doğum ağırlığı, SKA: sütten kesim ağırlığı, YAA: yirmi aylık yaş ağırlığı, KU: karkas uzunluğu, BU: but uzunluğu, BG: but genişliği, *: P<0.05.

Farklı dönemlere ait ağırlıklar ile karkas ölçüleri arasındaki ilişkileri belirlemek için ayrı üç kanonik korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Bu doğrultuda ilk kanonik değişken çifti arasındaki kanonik korelasyon katsayıları anlamlı farklılığa sahip çıkmıştır (Tablo 2). Wilk's Lambda değerleri ve kanonik korelasyon katsayılarının anlamlılık testi incelendiğinde, birinci kanonik değişken çifti arasında tespit edilen kanonik korelasyon katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($P < 0,05$; Tablo 2). Bu sonuçlar, farklı dönem ağırlıklar ile karkas ölçüleri arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 2. Kanonik korelasyon analiz sonuçları

Kanonik değişken çifti	Kanonik korelasyon	Kanonik özdeğer	DF1	DF2	Wilks istatistik	Olasılık Pr>F
U1V1	0,829	42,461	12,00	5,44	0,013	0,002
U2V2	0,807	3,041	7,00	6,08	0,099	0,293
U3V3	0,638	0,571	2,00	8,01	0,611	0,558

Standartlaştırılmış kanonik değişken çiftlerinin katsayıları kullanılarak farklı U ve V doğrusal bileşenleri oluşturulmuştur. Bu analiz için, Predictor sete (U) DA negatif katkı sağlarken, SKA ve YAA Criterion (V) setine benzer etkiye bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Kanonik değişkenlere ait standarize edilmiş kanonik katsayılar

Predictor set, U			
	DA	SKA	YAA
U1	0,565	0,986	0,845
	2,902	2,418	0,781
	-0,349	2,139	0,329
Criterion set, V			
	KU	BU	BG
V1	0,409	0,004	0,082
	6,219	-2,533	0,200
	0,281	1,937	-0,497

DA: doğum ağırlığı, SKA: sütten kesim ağırlığı, YAA: yirmi aylık yaş ağırlığı, KU: karkas uzunluğu, BU: but uzunluğu, BG: but genişliği,

Tablo 4. Kanonik değişkenlere ait kanonik yükler

Predictor set, U			
	DA	SKA	YAA
U1	0,968	0,998	0,999
	0,939	0,957	0,951
	0,856	-0,982	0,978
Criterion set, V			
	KU	BU	BG
V1	0,448	0,287	0,388
	0,129	-0,059	0,382
	-0,391	0,283	-0,867

DA: doğum ağırlığı, SKA: sütten kesim ağırlığı, YAA: yirmi aylık yaş ağırlığı, KU: karkas uzunluğu, BU: but uzunluğu, BG: but genişliği

Bu çalışma, Predictor set için yükler, SKA ve YAA'nın U1'i oluşturmada diğer karakterden daha etkili olduğunu, KU ve BG'nin ise Criterion setinde V1'i oluşturmada diğer karakterden daha etkili olduğunu göstermiştir (Tablo 4). Bu sonuçlara göre SKA ve YAA özellikleri U1 için etkili ve KU ve BG özelliklerinin de V1 için etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 5, zıt kanonik değişkenler ile U1 ve V1 setindeki değişkenler arasındaki korelasyonları temsil eden çapraz yüklerle oluşturulan kanonik boyutlardaki Predictor set ve Criterion set değişkenlerinin yüklerini göstermektedir. Çapraz yüklere göre, SKA ve YAA, U1 belirlemede daha etkiliyken, KU ve BU, V1 belirlemede daha etkili olmuştur (Tablo 5). Bu sonucun elde edilmesi açısından, SKA ve YAA, U1'in belirlenmesinde, KU ve BU ise V1'in belirlenmesinde diğer karakterden daha etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Değişkenlerin yüklerine karşı gelen kanonik yükler

		Predictor set, U		
		DA	SKA	YAA
U1		0,941	0,997	0,999
		0,957	0,988	0,989
		0,896	0,978	0,888
		Criterion set, V		
		KU	BU	BG
V1		0,498	0,480	0,451
		0,221	-0,452	0,882
		0,098	0,509	-0,813

DA: doğum ağırlığı, SKA: sütten kesim ağırlığı, YAA: yirmi aylık yaş ağırlığı, KU: karkas uzunluğu, BU: but uzunluğu, BG: but genişliği

Tablo 6. Değişken kümeleri için kanonik değişkenlere göre açıklanan toplam varyasyon oranı

Predictor set, U		Criterion set, V			
Açıklanan varyans	Yedeklik indeksi	Açıklanan varyans	Yedeklik indeksi	Açıklanan varyans	Yedeklik indeksi
0,982	0,982	0,768	0,768		
0,979	0,986	0,526	0,526	U1	0,526
0,907	0,907	0,591	0,547		

DA: doğum ağırlığı, SKA: sütten kesim ağırlığı, YAA: yirmi aylık yaş ağırlığı, KU: karkas uzunluğu, BU: but uzunluğu, BG: but genişliği

Bu çalışmada, kanonik değişkenler U1 ve V1'in, en fazla değere sahip farklı dönem ağırlıklarının toplam varyasyonunun %98'ini açıkladığı bulunmuştur. Öte yandan, U1 ve V1 değişkenleri karkas ölçülerinin toplam varyasyonunun %76'sını açıkladığı tespit edilmiştir (Tablo 6).

4. Tartışma

Sığırlarda bazı özellikler arasındaki çoklu ilişkiler esas alınarak yetiştiricilik ilkesi belirlemeye yönelik fazlaca literatür bilgisi bulunmamaktadır. Bu nedene mevcut çalışma söz konusu alanda literatüre katkı sağlayacaktır. Mevcut çalışmada DA ile SKA ve YAA arasında, SKA ile YAA ve KU arasında tespit

edilen yüksek korelasyon değerleri Yaprak ve ark. (2008) tarafından Morkaraman koyun ırkında doğum ağırlığı ile kesim özellikleri arasında tespit edilen pozitif ve orta düzeydeki bulgularla desteklenmiştir. Baladi, Shami ve Melez keçilerin erkek ve dişilerinde kesim ve karkas özellikleri arasındaki Pearson korelasyon değerleri, diğer ırkların erkek ve dişilerine nispeten daha zayıf bulunmuştur (Al-Atiyat ve Al-Dawood, 2021). Hipotezimiz doğrultusunda yapılan bu açıklamalar, besi stratejisini belirlemede farklı dönemlere ait canlı ağırlık değerleri ve karkas ölçüleri arasındaki ilişkinin anlamlılığı doğrultusundadır.

Çiftlik hayvanları yetiştiriciliği üzerine yapılan çalışmalarda birçok morfolojik özellik sıklıkla ölçülüp kaydedilir. Çünkü bu ölçümler hayvan büyümesinde canlı ağırlık seyrinin önemli göstergeleridir. Ancak uygulamada morfolojik özellikler arasındaki ilişkiyi ayrıntılı bir şekilde açıklamak bazı zorlukların yaşanmasına yol açmaktadır (Fourie ve ark., 2002). Bu çalışmada, iki değişken kümesi (U, V) arasındaki ilişkiyi daha iyi açıklamada, en yüksek korelasyon gösteren değişkenlerin doğrusal kombinasyonları bulunarak herbiri diğer kanonik değişkene ortogonal olan üç çift kanonik değişken oluşturmuştur.

Bu model için yapılan analizde, kanonik değişken çiftlerinin ilki (U1V1) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0,01$). Cankaya ve ark. (2008) çalışmalarında, bulgularımızla benzer olarak, 56 Holstein Friesian buzağısından doğumda ölçülen beş farklı morfolojik özellik ile 6 aylık morfolojik özellikler arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için kanonik korelasyon analizi uygulamış ve kanonik korelasyon katsayısının ilkini istatistiksel olarak anlamlı tespit edilmiştir ($P<0,05$). Ancak Alıç Ural ve Barıtcı (2013) tarafından yürütülen başka bir çalışmada ise kanonik korelasyon analizi kullanarak Holstein Friesian ineklerinin bazı meme (X seti) ve vücut özellikleri (Y seti) arasındaki ilişkiyi belirlenmiş ve setler arasındaki kanonik korelasyon katsayısının anlamlı olmadığı rapor edilmiştir.

Kanonik korelasyon analizinde ilk çiftin standardize edilmiş kanonik katsayısı, her bir çiftin ilişkili değişken katkısını açıklar. Mevcut çalışmada, değişkenler arasındaki karşılaştırmalara göre Predictor set (U), farklı ölçeklerde, Criterion seti (V) etkilemiştir. DA ve SKA Predictor ve Criterion setlerinde U1 ve V1'de en fazla katkıda bulunan karakterler olmuşlardır. Cankaya ve ark. (2008), Holstein Friesian buzağılarının doğum ve 6 aylık dönemlerindeki bazı vücut ölçümleri arasındaki ilişkinin tahmininde göğüs çevresi ve canlı ağırlığın kanonik katsayılar en önemli katkıda bulunduğunu bildirmiştir. Diğer yandan, U1 kanonik değişkeninde en büyük katkının canlı ağırlık, ardından cidago yüksekliği ve kuyruk genişliği olduğu, V1 kanonik değişkeninde ise en büyük katkının canlı ağırlık, ardından cidago yüksekliği ve göğüs derinliği olduğu bulunmuştur (Ozen ve ark., 2021).

Bu çalışmada, veri setinde çoklu doğrusallık bulunduğundan, standardize edilmiş katsayıların yanısıra yapısal korelasyonlar (yük/yükleme) da hesaplanmıştır. Çünkü kanonik yükler, o setteki kanonik değişkenler ile orijinal değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarını bildirmektedir (Sharma, 1996). Mevcut araştırmada yükler için, SKA ve YAA'nin U1'i oluşturmada diğer karakterlerden daha etkili olduğunu, KU ve BG'nin ise V1'i oluşturmada diğer karakterlerden daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Doğum ve 6 aylık hayvan canlı ağırlıklarına ait U1 ve V1 yükleri Holstein buzağılarda (Cankaya ve ark., 2008) ve Karayaka kuzularda (Tahtalı ve ark., 2012) diğer özelliklere göre daha etkili olmuştur.

Bu her iki araştırmada ağırlıkların toplam yük için büyük orana sahip olma hususu bulgularımızla benzerlik göstermiştir.

Çapraz yük değerlerinin oransal dağılımı bakımından, ölçülen SKA ve YAA özellikleri U1 kanonik değişkenine en fazla katkıyı sağlarken, KU ve BU özellikleri V1'e en fazla katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Ağırlıklar ve vücut ölçüleri arasındaki etkileşimin boyutu bakımından sonuçlarımızla örtüşür biçimde, Cankaya ve ark. (2008) tarafından, U1'in Holstein buzağılarından sağlanan canlı ağırlık ve göğüs çevresi özelliklerinin V1'i daha fazla belirleme şansı verdiği ve mevcut vücut ağırlığı değerinin daha eksiksiz doğrulanma sağladığını bildirmişlerdir. Diğer yandan, Bafra kuzularında süttten kesim ağırlığı ve cidago yüksekliği (Ozen ve ark., 2021) ve Sakız kuzularında canlı ağırlık ve kuyruk genişliği (Atac ve Altincekic, 2023) sırasıyla V1 ve U1 kanonik değişkenlerine en fazla katkı sağlayan değişkenler olarak bildirilmiştir.

Bu çalışmada, ele alınan farklı dönemlere ait canlı ağırlıklar için toplam varyasyonun %98,2'sinin birinci kanonik değişken U1 tarafından açıklandığı, bu değer bakımından aynı oran redundancy değerinin ise (%98,2) kanonik değişken V1 tarafından açıklandığı belirlenmiştir. Diğer yandan karkas ölçülerine ait toplam varyasyonun %76,8'inin birinci kanonik değişken U1 tarafından açıklandığı, birinci kanonik değişken için tespit edilen bu oranın (0,768) redundancy değerinin ise %76,8'inin V1 kanonik değişken tarafından açıklandığı belirlenmiştir.

Yapılan değerlendirmeler doğrultusunda birinci kanonik korelasyon değeri istatistiksel olarak anlamlı olan SKA değerlerinin YYA için bir seçim kriteri oluşturabileceği sonucu gözlemlenmiştir. Böylelikle DAK ırkı sığırlarda SKA değerleri baz alınarak seleksiyon yapılması ve bu doğrultuda et üretim planlamasının gerçekleştirilmesi yetiştirici için önemli bir kriter oluşturacaktır.

5. Sonuç

Öncelikle bu çalışmanın bulguları literatüre ve yetiştirme stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Çünkü yapılan literatür araştırmasında bu konuda yeterli bilgiye rastlanılamamıştır. Öte yandan bu çalışmada, karlı üretimi hızlandırmada ve nesil aralığını azaltmada çok önemli olan farklı dönem canlı ağırlıkları ve karkas ölçüleri arasındaki ilişkinin ölçeği belirlenmiştir. Bu çalışma, DAK ırkının bazı dönemsel canlı ağırlıkları (Predictor set, U) ve karkas ölçüleri (Criterion set, V) arasındaki çok değişkenli ilişkileri ortaya koymuştur. Sonuç olarak bu çalışma, yetiştiricilere çiftçilikte uygun hayvanı seçmeleri konusunda danışmanlık yaparak yetiştirme uygulamalarına ve araştırmalarına öncülük edecektir. Çünkü yapılan literatür araştırmasında bu konuda yeterli bilgiye rastlanılamamıştır.

Teşekkür

Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü ve Erzurum Et Süt Kurumu Müdürlüğüne desteklerinden dolayı minnattırım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Al-Atiyat R., Al-Dawood R. Power of body live weights in differentiation physiological growth of goat breeds. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2021; 45: 492-500
<https://doi.org/10.3906/vet-2010-15>
- Aliç Ural D., Barıtçı İ. Determination of relationship between some udder and body traits of Holstein cows by canonical correlation analysis. *Kocatepe Veterinary Journal* 2013; 6(1): 11-17.
<https://doi.org/10.5578/kvj.5476>
- Anonymous. Beef cattle production. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.wifss.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2015/FDA/fdacoursefinal1/Beef_Food_Animal_Production.pdf. 2015.
- Atac FE., Altincekic SO. The relationship between live weight and body measurements of Chios lambs at different periods. *South African Journal of Animal Science* 2023; 53, 5
<https://doi.org/10.4314/sajas.v53i5.09>
- Bae E., Hur JH., Kim J., Kwon JS., Lee J., Lee SH., Lim CY. Multi-group analysis using generalized additive kernel canonical correlation analysis. *Scientific Reports* 2020; 10: 12624.
- Barbosa LT., Lopes PS., Regazzi AJ., Guimarães SEF., Torres RA. Evaluation of swine carcass traits using principal components. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2005; 34(6): 2217.
- Cankaya S., Yazgan E., Kayaalp GT., Göçmez Z., Serbester U. Canonical correlation analysis for estimation of relationship between some body measurements at the birth and 6 month periods in Holstein Friesian calves. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2008; 8: 953-958.
- Dillon WR., Goldstein M. *Multivariate analysis: Methods and Applications* 1984; (2a ed., p: 462). New York, NY: John Wiley.
- Fourie PJ., Naser FWC., Olivier JJ., Van Der C. Relationship between production performance, visual appraisal and body measurements of young Dorper rams. *South African Journal of Animal Science* 2002; 32(4): 256-262.
- Ozen D., Kocakaya A., Ozbeyaz C. Estimating relationship between live body weight and type traits at weaning and six months of age in Bafra lambs using canonical correlation analysis. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 2021; 31(2): 386- 393. <https://doi.org/10.36899/japs.2021.2.0226>
- Sharma S. *Applied Multivariate techniques: Canonical correlation* 1996; 391-418. John Wiley and Sons Inc., USA.

- Silva LF., Pires CC. Avaliações quantitativas e predição das proporções de osso, músculo e gordura da carcaça em ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2000; 29(4): 1253-1260.
- SPSS. IBM Corp. Released, IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. 2021, Armonk NY: IBM Corp.
- Tahtalı Y., Çankaya S., Ulutaş Z. Canonical correlation analysis for estimation of relationships between some traits measured at birth and weaning time in Karayaka lambs. *Kafkas Universitsi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2012; 18(5): 839-844. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2012.6578>
- Yaprak M., Koycegiz F., Kutluca M., Emsen E., Ockerman HW. Canonical correlation analysis of body measurements, growth performance and carcass traits of Red Karaman lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2008; 7(2): 130-136.
- USDA. Official United States standard for grades of carcass beef. Washington, DC, USA: Agricultural Marketing Service, USDA. 1989.

Determination of Antioxidant Activity and Essential Oil Components of Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric Ex Loisel.) Grown Under Different Ecological Conditions by Microwave Hydrodistillation

Nilay Özlem SAĞLAM¹, Betül GIDİK^{2*}

¹Bayburt University, Graduate School of Education, Department of Organic Agriculture Management, 69000 Bayburt, Türkiye

²Bayburt University, Faculty of Applied Science, Department of Organic Farming Management, 69000 Bayburt, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-0218-9914>

²<https://orcid.org/0000-0002-3617-899X>

*Corresponding author: betulgidik@bayburt.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 11.01.2025

Accepted: 13.02.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Medicinal aromatic plant

Linalool

Linalilyl acetate

HCA

Lavender

ABSTRACT

The importance and usage areas of medicinal and aromatic plants are increasing day by day. Especially essential oils have recently been frequently used in our daily lives. Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) is an economically valuable plant from which essential oil is obtained from flower parts and used in many fields, especially in perfumery industry. This study aimed to determine the antioxidant activity and essential oil components of Lavandin, grown under different ecological conditions and to reveal the effects of ecological differences on these variables. For this purpose, the essential oil ratios of lavandin samples grown in different locations obtained by microwave hydrodistillation method were found to vary between 0.5% and 4.4%. Although there are different studies on lavender essential oil in the literature, there are not enough studies in which microwave hydrodistillation method is applied to lavandin samples grown in different locations. The major essential oil components were linalool (13.66%-26.40%) and linalyl acetate (10.88%-29.89%). It was determined that TP (Total phenolic matter) of lavandin samples was between 2.13-4.74 mg GAE/g sample, TF (Total flavonoid matter) was between 0.43-0.66 mg QE/g sample, FRAP (Iron (III) reduction) was between 27.62-79.50 μ mol Fe₂SO₄.7H₂O/g sample and DPPH (radical scavenging activity) was between 0.54-1.84 SC₅₀ mg/mL. The results obtained support the idea that ecological conditions are effective in antioxidant activity and essential oil ratio for lavandin plant and that the plant materials used in the study are suitable for use in the perfumery industry.

Farklı Ekolojik Koşullarda Yetiştirilen Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric Ex Loisel.) Bitkisinin Antioksidan Aktivitesi ve Uçucu Yağ Bileşenlerinin Mikrodalga Hidrodistilasyon ile Belirlenmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.01.2025

Kabul tarihi:13.02.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Tıbbi aromatik bitki

Linalool

Linalilyl asetat

HCA

ÖZ

Tıbbi ve aromatik bitkilerin her geçen gün önemi ve kullanım alanları giderek artmaktadır. Özellikle uçucu yağlar yakın zamanlarda sıkça günlük hayatımızda kullanılmaktadır. Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) çiçek kısımlarında uçucu yağ elde edilen ve parfümeri sanayii başta olmak üzere birçok alanda kullanılan ekonomik değeri olan bir bitkidir. Bu çalışmanın amacı; farklı ekolojik koşullarda yetiştirilen Lavandin bitkisinin antioksidan aktivitesi ve uçucu yağ bileşenlerini belirleyerek ekolojik farklılıkların bu değişkenler üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Bu amaçla farklı lokasyonlarda yetiştirilen lavandin örneklerinin mikrodalga

hidrodistilasyon yöntemi ile elde edilen uçucu yağ oranlarının %0,5-%4,4 değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Literatürde lavanta uçucu yağı konusunda farklı çalışmalar bulunsa da farklı lokasyonlarda yetişen lavandin örneklerine mikrodalga hidrodistilasyon yönteminin uygulandığı yeterli çalışmaya rastlanmamıştır. Majör uçucu yağ bileşenlerinin linalool (%13,66-%26,40) ve linalilyl asetat (%10,88-%29,89) olduğu görülmüştür. Lavandin örneklerine ait TP (Toplam fenolik madde) 2,13-4,74 mg GAE/g numune değerleri arasında, TF (Toplam flavonoid madde) 0,43-0,66 mg QE/g numune değerleri arasında, FRAP (Demir (III) indirgeme) 27,62-79,50 $\mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$ numune değerleri arasında ve DPPH (radikal temizleme aktivitesi) ise 0,54-1,84 SC_{50} mg/mL değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ekolojik koşulların lavandin bitkisi için antioksidan aktivitesi ve uçucu yağ oranında etkili olduğunu ve çalışmada kullanılan bitki materyallerinin parfümeri sanayiinde kullanıma uygun olduğu fikrini desteklemektedir.

To Cite: Sağlam NÖ., Gıdık B. Determination of Antioxidant Activity and Essential Oil Components of Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric Ex Loisel.) Grown Under Different Ecological Conditions by Microwave Hydrodistillation. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 833-855.

1. Introduction

Since ancient times, people have used plants to survive and eat healthier food. Plants with special healing effects are called medicinal and aromatic plants. In addition, plants are used in many different areas such as spices, food, beverages, paints and cosmetics (Aslan and Karakuş, 2019). Aromatic medicinal plants are frequently used in the food industry and their use in industrial production is increasing (Acıbuca and Bostan Budak, 2018).

To facilitate the research of approximately 20,000 medicinal and aromatic plants in the world (Toker et al., 2015) and to provide useful information; various classifications such as alphabetical, botanical, morphological, pharmacological, chemical, used parts and essential oils have been prepared (Gıdık et al., 2019; Gerçek et al., 2022).

Essential oil plants, which are used in the perfumery industry and food industry due to their pleasant odours, have been used in many fields in recent years (Gubišová, and Čičová, 2023). Lavandin plant is also known as one of them (Baydar, 2009).

The essential oil of the lavender plant contains two main components: linalyl acetate and linalool. The linalyl acetate component determines the quality of lavender oil and essential oils obtained from lavender varieties containing this component in abundance are used especially in perfumery (Sönmez et al., 2018). Lavender and lavandin varieties with high camphor content are used in insecticide production (Baydar, 2013). Some scientific studies using lavender plants have revealed that the properties of these plants such as essential oil ratios, essential oil components and antioxidant activities vary according to the conditions of the region where they grow (Kara and Baydar, 2014; Sönmez et al., 2018).

In a previous study; *L. angustifolia*, *L. latifolia* and *L. stoechas* L. grown under different conditions in Egypt, France and Australia, linalool (39.5%), linalyl acetate (26.7%), eucalyptol (43.08%), tau-cadinol (28.63%), and tau-cadinol (19.08%) were determined (Eldeghedy et al., 2022).

This study aimed to determine the antioxidant activity and essential oil components of Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) grown under different ecological conditions and to reveal the effects of ecological differences on these variables. When the previous studies in the literature are examined; studies on the essential oil ratio and components of lavender samples are generally noteworthy. There is not enough research in which lavandin samples were grown in different locations and microwave hydrodistillation method was used. It is thought that this study can be a source for more comprehensive researches.

2. Material and Methods

2.1. Plant Material

In this study, dried flowers of lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) obtained from Isparta Central District, Burdur Central District, Antalya Central District, Antalya Güzeloba District and Kırklareli Babaeski District were used as plant material. Lavandin samples were obtained from farmers in the locations mentioned in 2020.

2.2. Climate and Soil Characteristics of the Locations where Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) Samples were Grown

Climate data for the years 1950-2020 and 2019-2020 for the locations where plant samples were obtained were obtained from the Turkish Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change, General Directorate of Meteorology. In addition, soil samples from these locations were taken from 0-30 cm depth and analysed at the Soil, Water and Plant Analysis Laboratory of the Black Sea Agricultural Research Institute Directorate of the Ministry of Agriculture and Forestry. The climatic data of the central district of Burdur province for many years (1950-2020) and 2019-2020 are shown in Table 1.

When the climate data of Burdur province by years are analysed, it is seen that the average monthly total precipitation between 1950-2020 is 428.5 mm, and when the average monthly temperature values are examined, it is seen that the average temperature is 13.3°C. When the data of Burdur province for 2020 are examined, it is seen that the total amount of precipitation by month is 382.4 mm, the monthly average temperature is 14.25°C and the monthly relative humidity is 47.34%.

The climatic data of the central district of Isparta province for many years (1950-2020) and 2019-2020 are shown in Table 2. When the climatic data of Isparta province are examined according to years, the average monthly total precipitation between 1950-2020 is 547.9 mm. When the monthly average temperature values are examined, it is seen that the average temperature is 12.3°C. When the data of Isparta province for 2020 are examined, it is seen that the total amount of precipitation by month is 484 mm, the monthly average temperature is 14.26°C and the monthly relative humidity is 58.3%.

Table 1. 1950-2020 and 2019-2020 climate data for the central district of Burdur province

Years	MONTHS												Total/ Average
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
Monthly Total Precipitation (mm)													
1950-2020	55.4	40.2	45.8	43.6	45.0	30.1	13.7	9.6	15.7	33.7	37.0	58.7	428.5
2019	62.4	17.2	29.4	43.4	25.2	78.2	9.0	0.8	17.2	20.4	9.6	40.0	352.8
2020	37.6	60.8	38.2	18.8	95.0	36.2	3.8	8.4	5.8	33.0	5.2	39.6	382.4
Monthly Average Temperature (°C)													
1950-2020	2.6	3.9	7.1	11.7	16.4	21.0	24.6	24.6	20.3	14.5	8.7	4.3	13.3
2019	3.3	5.4	8.3	10.8	17.8	21.6	24.2	25.4	20.9	16.5	11.0	5.2	14.2
2020	1.9	4.2	8.4	12.4	16.7	20.3	26.9	25.4	23.6	17.0	8.1	6.1	14.25
Monthly Average Relative Humidity (%)													
1959-2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	67.0	56.2	48.9	49.3	39.8	45.8	34.0	31.9	38.0	45.2	53.6	62.3	47.66
2020	57.5	60.5	50.3	45.3	44.0	41.8	30.7	32.5	36.0	42.9	53.7	72.9	47.34

Table 2. 1950-2020 and 2019-2020 climate data for the central district of Isparta province

Years	MONTHS												Total/ Average
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
Monthly Total Precipitation (mm)													
1950-2020	79.7	60.9	56.8	51.2	55.9	33.1	16.1	13.4	17.0	37.9	45.1	80.8	547.9
2019	97.0	55.4	40.3	50.8	34.2	53.3	9.5	2.7	26.5	9.9	28.6	45.3	453.5
2020	74.1	71.4	41.3	24.2	92.1	42.6	1.9	24.8	1.0	48.7	26.5	35.4	484.0
Monthly Average Temperature (°C)													
1950-2020	1.9	3.0	6.2	10.7	15.3	19.8	23.4	23.2	18.9	13.3	7.7	3.6	12.30
2019	2.5	4.5	7.3	9.9	16.8	20.7	23.3	24.4	20.0	15.7	9.8	4.6	13.29
2020	1.4	3.8	7.7	11.6	16.1	20.3	27.0	25.6	24.1	17.4	9.3	6.9	14.26
Monthly Average Relative Humidity (%)													
1959-2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	81.3	72.1	63.0	64.4	53.4	59.8	44.9	43.0	50.1	59.1	71.6	77.5	61.68
2020	70.6	75.2	64.8	58.6	57.1	52.3	36.5	39.2	42.9	58.2	63.1	81.1	58.30

The climatic data of the central district of Antalya province for many years (1950-2020) and 2019-2020 are shown in Table 3. According to these data, it is seen that the average monthly total precipitation between 1950-2020 was 871.6 mm and the average monthly temperature was 20.1°C. In addition, looking at the data for 2020, it is seen that the total amount of precipitation by month is 641 mm, the monthly average temperature is 20.56°C and the monthly relative humidity is 50.37%.

Table 3. 1950-2020 and 2019-2020 climate data for the central district of Antalya province

Years	MONTHS												Total/ Average
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
Monthly Total Precipitation (mm)													
1950-2020	211.4	97.5	104.0	44.3	43.7	15.1	0.3	7.9	30.5	73.7	72.7	170.5	871.6
2019	425.9	68.9	97.2	30.1	8.7	22.2	0.0	0.5	3.5	15.4	93.9	307.2	1073.5
2020	87.3	105.6	60.6	21.0	57.6	3.9	-	-	0.2	25.9	39.4	239.6	641.1
Monthly Average Temperature (°C)													
1950-2020	11.4	12.4	14.8	17.5	21.5	25.7	29.0	29.5	26.4	22.2	17.2	13.1	20.1
2019	10.6	12.9	14.7	16.6	21.5	26.0	28.7	30.0	26.8	24.1	18.9	13.6	20.36
2020	11.7	12.3	14.9	17.4	22.0	23.9	29.2	29.7	28.7	24.0	18.5	14.5	20.56
Monthly Average Relative Humidity (%)													
1959-2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	72.6	62.0	60.7	60.8	60.4	62.0	51.5	50.4	53.2	51.2	56.5	62.5	58.65
2020	44.6	60.9	56.3	63.3	56.4	60.4	60.4	51.9	51.8	53.7	37.3	67.9	50.37

Long-term (1950-2020) and 2019-2020 climate data for Güzeloba district of Antalya province are shown in Table 4. When these data are analysed; it is seen that the average monthly total precipitation between 1950-2020 is 1057.6 mm and the average monthly temperature is 18.8°C. Looking at the data for 2020 in Güzeloba, Antalya province, total monthly precipitation is 716.7 mm, monthly average temperature is 19.92°C and monthly relative humidity is 61.92%.

Table 4. 1950-2020 and 2019-2020 climate data for Güzeloba district of Antalya province

Years	MONTHS												Total/ Average
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
Monthly Total Precipitation (mm)													
1950-2020	227.9	146.0	100.2	52.4	31.4	8.9	4.8	4.8	16.3	73.1	135.9	255.9	1057.6
2019	456.2	109.0	56.2	29.6	3.4	16.4	0.2	0.2	30.4	11.6	111.8	253.2	1078.0
2020	62.0	78.2	56.0	10.6	36.0	2.0	-	-	1.4	35.8	22.8	411.9	716.7
Monthly Average Temperature (°C)													
1950-2020	10.0	10.7	12.9	16.3	20.5	25.3	28.4	28.4	25.2	20.6	15.3	11.5	18.8
2019	9.9	11.7	13.6	16.0	21.7	26.3	28.9	30.0	26.4	23.2	17.3	12.2	19.76
2020	10.4	11.4	13.9	16.7	21.9	24.0	29.5	29.8	28.4	23.2	16.8	13.1	19.92
Monthly Average Relative Humidity (%)													
1959-2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	75.0	68.9	66.3	65.1	61.4	61.4	53.2	52.8	58.4	58.9	65.6	70.2	57.98
2020	54.3	67.1	64.6	69.0	60.3	61.9	61.3	54.1	58.3	62.0	52.3	77.9	61.92

The climate data of Babaeski district of Kırklareli province for many years (1950-2020) and 2019-2020 are shown in Table 5. When these data are examined, it is seen that the average monthly total precipitation between 1950-2020 was 629.7 mm and the average monthly temperature was 13.6°C.

Looking at the data of this location in 2020, it is seen that the total monthly precipitation amount is 453 mm, the monthly average temperature is 14.95°C and the monthly relative humidity is 78.42%.

Table 5. 1950-2020 and 2019-2020 climate data for Babaeski district of Kırklareli province

Years	MONTHS												Total/ Average
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
Monthly Total Precipitation (mm)													
1950-2020	63.6	49.7	50.9	55.3	69.7	44.4	27.7	16.9	27.9	68.5	81.1	74.0	629.7
2019	126.8	36.4	10.0	37.6	54.2	49.4	66.2	31.6	17.6	80.4	41.0	27.0	578.2
2020	39.4	53.0	18.8	42.1	62.8	112.7	0.0	5.6	18.0	64.4	3.0	33.2	453.0
Monthly Average Temperature (°C)													
1950-2020	3.4	4.9	7.6	12.5	17.4	22.1	23.9	23.3	19.6	14.2	9.1	5.5	13.6
2019	4.1	5.4	9.5	11.8	17.8	23.8	24.0	25.4	21.0	16.0	15.6	8.4	15.23
2020	3.7	7.2	9.4	11.3	17.1	21.6	25.1	25.5	22.7	17.4	9.7	8.7	14.95
Monthly Average Relative Humidity (%)													
1959-2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	100.0	100.0	100.0	86.8	75.0	67.7	65.2	62.6	65.5	75.3	82.7	88.0	80.73
2020	83.2	85.8	83.6	72.8	76.6	77.9	67.7	66.2	69.5	81.7	86.2	89.9	78.42

The results of soil analyses of the locations where lavender plant samples used as material in this study were collected are shown in Table 6. According to the analysis results of the soil sample obtained from the central district of Burdur province, it was found to be poor in organic matter and highly calcareous, and slightly alkaline according to Gedikoğlu (1990) and Ülgen, and Yurtsever (1995). According to the analysis results of the soil sample obtained from the central district of Isparta province, saturation rate was 77% and pH value was 7.58. The soil sample was found to be slightly alkaline according to some studies (Gedikoğlu, 1990; Ülgen, and Yurtsever 1995). According to the results of the analysis of the soil sample of the central district location of Antalya province, it was found that it was poor in organic matter and highly calcareous and slightly alkaline according to Gedikoğlu (1990) and Ülgen, and Yurtsever (1995).

Table 6. Soil sample analysis results of the locations

		Saturation	pH	Total Salt	Lime	Organic Matter %	Absorbable Phosphorus	Absorbable Potassium
Burdur	Value Degree	59.4	7.58	0.01	40.88	1.86	8.54	109.5
	Analysis Method/Reference	Clay-Loamy	Mildly Alkaline	Unsalted	Too much lime	Few	Medium according to Olsen (Kg/da)-Low according to Bray and Kurtz	High (Kg/da)
		TS 8333 (+%10) (Air Dry)	Yurdakul 2018	TS 8334 (In mud)	TS EN ISO 10693 (Modified)	TS 8336	Olsen (Concentration)	TS8341 (Concentration)
Isparta	Value Degree	77	7.58	0.04	21.67	3.32	6.33	199.5
	Analysis Method/Reference	Clay	Mildly Alkaline	Unsalted	Much lime	Good	Medium according to Olsen (Kg/da)-Low according to Bray and Kurtz	High (Kg/da)
		TS 8333 (+%10) (Air Dry)	Yurdakul 2018	TS 8334 (In mud)	TS EN ISO 10693 (Modified)	TS 8336	Olsen (Concentration)	TS8341 (Concentration)
Antalya province	Value Degree	66	7.71	0.03	22.48	3.33	44.91	203.4
	Analysis Method/Reference	Clay-Loamy	Mildly Alkaline	Unsalted	Much lime	Good	Very High (Kg/da) according to Olsen - Medium according to Bray and Kurtz	High (Kg/da)
		TS 8333 (+%10) (Air Dry)	Yurdakul 2018	TS 8334 (In mud)	TS EN ISO 10693 (Modified)	TS 8336	Olsen (Concentration)	TS8341 (Concentration)
Antalya-Güzeloba	Value Degree	72.6	7.94	0.04	33.11	1.1	3.05	61.2
	Analysis Method/Reference	Clay	Mildly Alkaline	Unsalted	Too much lime	Few	Less according to Olsen (Kg/da)-Less according to Brau and Kurtz	High (Kg/da)
		TS 8333 (+%10) (Air Dry)	Yurdakul 2018	TS 8334 (In mud)	TS EN ISO 10693 (Modified)	TS 8336	Olsen (Concentration)	TS8341 (Concentration)
Kırklareli-Babaeski	Value Degree	70.4	7.59	0.03	10.06	1.05	1.83	187.8
	Analysis Method/Reference	Clay	Mildly Alkaline	Unsalted	Medium Calcareous	Few	Medium according to Olsen (Kg/da)-Low according to Bray and Kurtz	High (Kg/da)
		TS 8333 (+%10) (Air Dry)	Yurdakul 2018	TS 8334 (In mud)	TS EN ISO 10693 (Modified)	TS 8336	Olsen (Concentration)	TS8341 (Concentration)

According to the results of the analyses of the soil sample belonging to Güzeloba location of Antalya province, the soil was found to be poor in organic matter and highly calcareous and slightly alkaline according to Gedikoğlu (1990) and Ülgen, and Yurtsever (1995). According to the results of the analysis of the soil sample belonging to Babaeski district of Kırklareli province, the soil was found to be poor in organic matter and moderately calcareous and slightly alkaline according to Gedikoğlu (1990) and Ülgen, and Yurtsever (1995).

The plant samples used in this study were grown at a distance of 35 cm above the row and 140 cm between the rows. Irrigation was applied twice in July and once at the beginning of August. Harvesting took place in the last week of August and the first week of September. Plant samples dried in the shade were used.

2.3. Microwave hydrodistillation

Microwave hydrodistillation was carried out in a Milestone brand Ethos X model microwave extraction device. 150 g of dried flowers of lavandin was taken, soaked with 200 mL of water and placed in the extraction tank. The power of the microwave digestion was programmed to 1000 Watt. In the programme, the temperature increased to 100°C in 10 minutes and the process continued for 30 minutes. The moisture in the essential oil was removed with anhydrous sodium sulphate and then the dehydrated sample was placed in a sealed glass bottle and stored at 4°C until use.

2.4. Preparation of fatty acid methyl esters and GC-MS conditions

100 mg essential oil sample was taken in a 20 mL test tube and dissolved in 10 mL hexane. 100 µL of 2N potassium hydroxide was added and centrifuged after 30 s vortexing. At the end of centrifugation, 1 mL of supernatant (Regulation, 1991) was transferred to a vial and fatty acid analysis was performed in GC-MS. DB-23 60 m x 0.25 mm ID, 0.15 µm (J&W 122-2361) column and helium as carrier gas were used in the analyses. The oven temperature was set at 50°C for 1 min, 25°C increments until 175°C, 230°C for 5 min with 4°C increments, injection temperature 230°C. 1 µL was injected and the split ratio was set as 1/50 (IUPAC Standard Methods, 1992). The ionisation energy was applied at 70 eV with a scan time of 0.3 s and a mass range of 45-500 AMU. Management of the GC-MS system, parameter settings for GC and mass spectrometry, and data acquisition and processing were performed using Agilent GC-MS solution software and compounds were identified using NIST and WILEY libraries.

2.5. Plant material extraction for phenolic components and antioxidant capacity

Lavandin dried flower samples were stored in dry conditions until use. Ultrasonically assisted extraction was performed by applying the methods of Annegowda et al. (2012) and Wang et al. (2018). Dried lavandin flower samples were ground in a grinder. Four grams of sample was transferred to sterile Falcon tubes (15 mL) and 10 mL ethanol was added as solvent. This mixture was kept in an ultrasonic water bath (Kudos) for 30 min at 60°C at a frequency of 35 kHz. Then this reaction mixture was centrifuged at 10,000 rpm for 10 min and the supernatants were carefully transferred to sterile Falcon tubes. The volume was made up to 10 mL with ethanol (95%). Before analysis, a portion of the supernatant was filtered through a 0.45 µm filter.

2.6. Determination of total phenolic matter

It is known that phenolic compounds are oxidised by reducing Folin-Ciocalteu reagent in basic environments and oxidising themselves. It is known that the redox reaction between the Folin-Ciocalteu reagent, which acts as an oxidising agent, and phenolics forms the basis of this method. (Singleton and Rossi, 1965; Slinkard and Singleton, 1977). The total amount of phenolics in the sample is determined by measuring the absorbance of the coloured product formed as a result of this

redox reaction spectrophotometrically at 760 nm wavelength. It is known that the measured absorbance value is directly proportional to the amount of phenolic matter. Generally, while performing spectrophotometric measurements, the amount is calculated by using the standard calibration graph. In this study, gallic acid was used as a standard for the determination of phenolic substances in Lavandin samples. Starting from the solution of gallic acid standard at a concentration of 1 mg/mL, working solutions of 0.500, 0.250, 0.125, 0.062, 0.031 and 0.015 mg/mL were prepared respectively. Absorbance graphs corresponding to the concentration values of these solutions were plotted. Using the standard calibration graph, the amount of phenolic substances in lavandin samples was calculated separately for each sample and the result was determined as mg gallic acid equivalent per gram sample (mg GAE/g).

2.7. Determination of total flavonoid matter

Flavonoids, which constitute an important part of phenolic compounds, are among the natural antioxidants found in plants. The method described by Fukumoto and Mazza was used to determine the total amount of flavonoids in lavandin samples (Fukumoto, & Mazza, 2000). The absorbance of the coloured product resulting from the redox reaction between flavonoids and aluminium (III) was measured at 415 nm wavelength to determine the total flavonoid content. Thus, 1 mg/mL quercetin stock solution was prepared to create a standard calibration graph of quercetin for the determination of the result. From this stock solution, 0.500, 0.250, 0.125, 0.062, 0.031 and 0.015 mg/mL solutions were prepared by serial dilution method and absorbance value was determined. A standard calibration graph was obtained by plotting absorbance against quercetin concentration. The total amount of flavonoids in lavandin samples was calculated using the standard calibration graph and the results obtained were determined as mg Quercetin equivalent per gram sample (mg QE/g).

2.8. Determination of DPPH radical scavenging activity

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) is a synthetically produced radical and produces maximum absorbance at 517 nm wavelength. In order to determine the radical scavenging activity of various components in lavandin samples, methanolic solution of DPPH at 100 μ M concentration was used. For the determination of DPPH radical scavenging activity, solutions of lavandin samples produced by serial dilution method were added to the DPPH radical concentration and the solvents of these lavandin samples were used as reagent blind. The solutions of lavandin samples and the radical were mixed in a 1:1 ratio and the absorbance values at 517 nm wavelength were measured spectrophotometrically and the radical scavenging power of the antioxidant substances in lavandin samples was calculated by drawing a graph from the values obtained. The data obtained as a result of these studies were evaluated as SC_{50} value (Cuendet et al., 1997). SC_{50} value is known as the amount of antioxidant substance needed to halve the radical concentration in the environment. To determine the SC_{50} values of lavandin samples, working solutions of different concentrations were obtained by serial

dilution. As a result of the interaction of each sample with the radical, absorbance values were measured at 517 nm wavelength and the SC_{50} value of lavandin samples was determined as mg/mL with the help of the exponential equation obtained by drawing the absorbance graph against the concentrations of lavandin samples.

2.9. Determination of iron (III) reducing antioxidant power-FRAP

Fe (III)-TPTZ-2,4,6-tris(2-pyridyl)-S-triazine complex is reduced in the presence of antioxidants. The resulting Fe (II)-TPTZ complex shows maximum absorbance at 593 nm wavelength (Benzie and Strain, 1999). It is known that the standardisation and application of this FRAP method are easier than some other methods. FRAP reagent was obtained freshly by mixing 300 mM pH:3.6 acetate buffer, 10 mM TPTZ and 20 mM $FeCl_3$ solutions in a 10:1:1 ratio. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ was used to obtain a standard calibration graph. The solutions required for the realisation of the study were obtained by serial dilution from 1000 μ M stock solution. After the experimental procedures, the antioxidant power in lavandin samples was determined as the equivalent of $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ by plotting the absorbance graph against the solution concentration.

2.10. Statistical Analysis

SPSS 25.0 version statistical analysis program was used for statistical evaluation of the data obtained in this study. Pearson correlation analysis was performed to determine the effect of climate and environmental factors on oil ratio and fatty acid composition. In addition, Hierarchical Cluster Analysis (HCA) was performed to determine the proximity of lavandin samples obtained from different locations in terms of oil ratio, phenolic components and antioxidant capacity.

3. Results and Discussion

3.1. Essential Oil Ratios and Components of Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.)

Samples

Essential oils are found in many medicinal and aromatic plants. In addition to giving plants a pleasant odour, these oils are also used in various industrial fields with the different components they contain (Bozari et al., 2013; Yuca et al., 2024). The flowers of lavandin plant are grown especially for the use of essential oil. In this study, the essential oil ratio (Table.7) and essential oil components (Table 8.) of the flower parts of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. plants obtained from Isparta Central District, Burdur Central District, Antalya Central District, Antalya Güzeloba District and Kırklareli Babaeski District were determined.

Table 7. Essential Oil Ratios of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel

Location	Essential oil content (%)
Burdur	2.2 ±0.04
Kırklareli/Babaeski	1.4±0.01
Isparta	1.1±0.02
Antalya	0.5±0.01
Antalya/Güzeloba	4.4±0.06

When the essential oil ratios were analysed according to the locations, it was seen that the highest ratio was obtained from Antalya/Güzeloba location. Although it was closer location to Antalya centre location than the others, it was observed that there were differences between the results. It is thought that this situation may be due to the differences in the amount of organic matter, the amount of available phosphorus and the amount of available potassium among the soil properties or the differences in the total/average rainfall and moisture amounts of the locations. In some studies in the literature, it was revealed that factors such as environmental characteristics, altitude, irrigation and rainfall were effective on essential oil ratios (Lane et al., 2008; Telci et al., 2010; Najar et al., 2019; Fernández-Sestelo et al., 2020; Salata et al., 2020).

In a previous study (Aćimović et al., 2022), the essential oil ratios of different *Lavandula x intermedia* samples were determined and reported to be between 1.03%-1.26%, which is different from this study. However, in a recent similar study, essential oil ratios of *Lavandula* spp. were reported to be between 0.5%-2.0% (Pokajewicz et al., 2022). Although the values obtained for essential oil ratios in this study (0.5%-4.4%) are similar to some previous studies, there are also differences. Although the methods and plant materials used in the studies are similar, it is thought that the reason for the differences is the variability of environmental conditions. This situation suggests that natural variables such as temperature and precipitation related to growing conditions are effective on essential oil ratios.

The essential oil components of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples were analysed using Agilent GC-MS solution software and the compounds were identified using NIST and WILEY libraries. A total of 97 different essential oil components of lavandin samples obtained from five different locations used in the study were determined (Table 8). Accordingly, it was observed that linalyl acetate (24.11%) was the major component in the samples grown at Burdur location, followed by linalool (24.00%) and borneol (4.62%). In the samples grown in Kırklareli/Babaeski location, linalool (13.66%) was the major component, followed by linalyl acetate (10.88%) and estergole (7.38%). In the samples grown in Isparta location, linalyl acetate (29.89%) was the major component, followed by linalool (14.58%) and borneol (6.68%). It was observed that linalool (21.23%) was the major component in the samples grown in Antalya location, followed by linalyl acetate (18.14%) and camphor (12.93%). In the samples grown in Antalya/Güzeloba location, linalool (26.40%) was the major component, followed by ocimene (18.54%) and camphor (7.72%).

In *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples grown in all locations, the highest linalyl acetate was observed in the sample grown in Isparta location with a value of 29.89%. The fact that linalyl acetate and linalool components, which are expected to be in plants used especially in perfumery

production, are among the major components in *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples obtained from all locations draw attention to the economic value of this plant.

Table 8. Essential Oil Components of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel

Components	Burdur		Kırklareli / Babaeski		Isparta		Antalya		Antalya / Güzeloba	
	RT (min)	%	RT (min)	%	RT (min)	%	RT (min)	%	RT (min)	%
Beta pinene	8.95	0.06	8.96	0.21	35.09	0.05	8.95	0.11	-	-
Alpha pinene	-	-	7.59	0.73	7.58	0.20	7.58	0.29	7.58	0.30
Beta Myrcene	9.46	0.46	9.47	0.47	9.46	0.38	9.47	0.26	9.47	0.51
1,8-Cineole	10.89	4.33	10.99	10.00	10.89	4.88	10.93	6.66	10.88	3.97
Limonene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-octanone	9.32	0.72	9.33	0.64	9.32	0.62	9.33	0.90	9.33	0.80
Ocimene	11.45	0.39	11.16	1.51	11.45	0.38	11.45	0.36	19.07	18.54
Linalool oxide	12.95	3.60	12.71	3.27	12.59	1.03	12.37	2.33	12.73	5.74
1-Octen-3-ol, acetate	13.88	0.43	11.49	0.32	13.89	0.33	13.87	0.46	13.91	0.43
Sabinene hydrate	22.02	0.33	22.01	0.13	-	-	-	-	-	-
Camphor	15.09	9.42	14.99	2.40	15.06	6.07	15.15	12.93	15.09	7.72
Linalool	13.72	24.00	13.66	13.66	19.65	14.58	13.73	21.23	13.76	26.40
Linalyl asetat	19.11	24.11	19.03	10.88	19.17	29.89	19.08	18.14	-	-
Bornyl asetat	19.85	0.31	19.86	0.55	19.88	0.17	18.84	0.18	-	-
Lavandulyl asetat	20.03	1.38	23.03	0.74	20.06	1.95	20.03	1.58	20.04	1.91
Terpinen -4-ol	-	-	16.15	2.12	-	-	-	-	-	-
Beta-farnesene	25.30	0.71	25.29	0.29	25.30	0.81	25.28	0.52	25.28	0.31
Caryophyllene	24.19	1.02	24.17	0.42	24.20	1.28	24.17	0.76	24.16	0.33
Crypton	16.41	0.35	-	-	16.42	0.28	16.43	0.46	16.44	0.15
lavandulol	-	-	20.13	5.06	-	-	-	-	-	-
Borneol	15.77	4.62	15.89	6.38	15.84	6.68	15.81	4.88	15.82	5.35
Germacrene D	-	-	-	-	26.07	0.27	-	-	-	-
Geranyl asetat	22.39	0.34	22.40	0.42	-	-	23.01	0.71	23.02	0.96
Alpha amorphene	27.05	0.14	27.07	0.33	27.05	0.18	27.05	0.38	-	-
Nerol	23.02	0.67	17.96	0.13	20.53	0.49	17.96	0.13	17.97	0.24
Cuminol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caryophyllene oxide	29.11	0.44	28.71	1.79	29.11	0.57	29.13	1.07	29.12	0.93
Alpha bisabolol	32.12	1.59	-	-	32.12	1.27	32.09	0.68	32.08	0.39
Alpha cadinol	-	-	30.85	0.71	-	-	30.80	0.18	30.79	0.05
2H-Pyran, 3,6-dihydro-4-methyl-2-(2-methyl-1-propenyl)	9.56	0.02	9.56	0.20	15.29	0.14	15.30	0.24	15.31	0.36
Hexyl methyl ether	4.69	0.05	4.69	0.07	4.69	0.04	4.69	0.09	4.69	0.10
1-Hexanol	5.70	0.14	5.70	0.13	5.70	0.06	5.70	0.09	5.70	0.10
Oxepine	7.61	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-
Camphene	8.04	0.36	8.06	0.97	8.04	0.30	8.04	0.57	8.04	0.41
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	9.78	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-
Herboxide Second Isomer	10.02	0.12	10.03	0.14	10.02	0.07	14.52	0.15	10.02	0.43
Acetic acid, hexyl ester	10.26	0.96	10.31	1.09	10.25	0.80	10.27	1.15	10.26	0.94
Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)	10.61	0.08	10.70	1.30	10.61	0.05	10.62	0.15	10.61	0.15
2,3-Dimethylpenta-3,4-dienoic acid	11.18	0.58	-	-	-	-	-	-	11.17	0.44
2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene,E,E	14.12	0.07	14.36	0.26	14.52	0.14	14.39	0.25	14.42	0.16
Butanoic acid, hexyl ester	16.65	2.71	-	-	16.64	2.03	16.64	2.09	16.69	3.18
Estragole	16.81	0.25	16.97	7.38	16.83	0.74	16.86	1.63	16.89	2.53
Butanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester	18.14	0.33	-	-	18.14	0.18	18.14	0.22	18.14	0.22
Carvacrol	20.34	0.14	20.28	0.21	-	-	20.34	0.10	-	-
Hexyl tiglate	21.29	0.44	21.29	0.09	21.29	0.33	21.28	0.35	21.29	0.39
Hexanoic acid, hexyl ester	23.09	0.26	-	-	-	-	23.08	0.24	-	-
p-Cymene	24.00	0.12	24.00	0.06	-	-	-	-	-	-
Coumarin	24.64	0.09	28.70	0.09	24.64	0.08	24.64	0.56	24.63	0.03
beta,-Selinene	26.60	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl	34.01	0.17	34.01	0.07	34.01	0.08	34.01	0.03	-	-
Acetic acid, octyl ester	17.27	0.13	-	-	17.27	0.07	17.27	0.07	17.27	0.08
(1R,6S,7S)-3,7-Dimethyl-7-(4-methyl-3-penten-1-yl)bicyclo[4,1,0]hept-2-ene	26.00	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-
1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,4,7-tetramethyl-	28.22	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-
Exo methylene isomer of Caryophyllenol	30.64	0.14	30.68	0.28	-	-	-	-	-	-
Naphthalene, 1,2,4a,5,8,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)	30.81	0.18	-	-	-	-	26.05	0.25	-	-
geranyl-p-cymene	34.77	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
Sabinene	35.10	0.06	8.86	0.06	8.86	0.04	8.86	0.04	8.86	0.05
2-Cyclohepta-2,4,6-trienyl-ethanol	35.43	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-
gamma,-Terpinene	35.93	0.04	11.82	0.15	11.80	0.04	11.80	0.06	11.80	0.06
(4S,7R)-Bisabolol-1(6),2,10-triene	23.72	0.08	-	-	23.72	0.06	-	-	-	-
3-Buten-2-ol, 2-methyl	-	-	2.02	0.05	-	-	-	-	2.02	0.04
Hexanal	-	-	4.12	0.03	-	-	-	-	-	-
4-Methylene-5-Hexenal	-	-	6.39	0.05	-	-	-	-	-	-
Tricyclene	-	-	7.21	0.09	-	-	7.21	0.04	-	-
alpha,-Thujene	-	-	7.38	0.05	-	-	-	-	-	-
1,3,5-Cycloheptatriene, 3,7,7-trimethyl	-	-	8.76	0.09	-	-	-	-	-	-
Butanoic acid, butyl ester	-	-	9.64	0.18	-	-	-	-	-	-
Delta,3-Carene	-	-	10.09	0.09	-	-	-	-	-	-
beta,-Ocimene	-	-	11.51	1.28	-	-	11.10	0.50	11.46	0.56
Bicyclo[2,2,1]heptan-2-one, 3,3-dimethyl	-	-	12.71	0.12	-	-	-	-	-	-
verbenene	-	-	8.22	0.06	-	-	-	-	-	-
Bicyclo[3,1,1]heptan-2-one, 6,6-dimethyl-, (1R)	-	-	14.70	0.10	-	-	-	-	-	-
trans-Verbenol	-	-	14.77	0.18	-	-	-	-	-	-
Pinocarvone	-	-	15.56	0.18	-	-	15.58	0.07	-	-

Propanol	-	-	16.51	0.89	-	-	-	-	-	-
Phenol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)	-	-	16.64	0.32	-	-	-	-	-	-
[3,3,3]Propellane	-	-	17.29	0.38	-	-	-	-	-	-
trans-Carveol	-	-	17.63	0.09	-	-	17.63	0.11	17.63	0.12
Propanal, 2-methyl-3-phenyl-	-	-	18.27	0.12	18.30	0.22	18.26	0.17	-	-
D-Carvone	-	-	18.42	0.15	-	-	-	-	-	-
1,7-exo-Trimethylenebicyclo[3,2,1]octane	-	-	18.70	0.13	-	-	-	-	-	-
1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-(1-methylethenyl)-	-	-	19.60	0.14	-	-	-	-	-	-
Eucarvone	-	-	20.74	0.07	-	-	-	-	-	-
Eugenol	-	-	22.15	0.09	-	-	-	-	-	-
2,7-Diazaspiro[4,4]nonane, 2-ethyl Octane, 3-ethyl-2,7-dimethyl-	-	-	23.58	0.05	-	-	-	-	-	-
Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)	-	-	23.68	0.14	-	-	-	-	-	-
alpha,-Terpinene	-	-	24.80	0.11	-	-	-	-	-	-
2-(Trimethylsilylethynyl)pyridine	-	-	28.91	0.07	-	-	-	-	-	-
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,7-hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	-	-	30.02	0.12	-	-	-	-	-	-
Caryophyllenol-II	-	-	31.82	0.26	-	-	-	-	-	-
14-Norcadin-5-en-4-one isomer B	-	-	32.20	0.13	-	-	-	-	-	-
Cadina-4,10(15)-dien-3-one	-	-	33.08	0.08	-	-	-	-	-	-
4-(1,1-Dimethyl-4-formylbutyl)-3-cyclohexen-1-one	-	-	33.79	0.11	-	-	-	-	-	-
(+)-Oxo-T-cadinol	-	-	34.42	0.05	-	-	-	-	-	-
Hexadecanoic acid, methyl ester	-	-	34.56	0.04	-	-	-	-	-	-
2-,Beta,-Pinene	-	-	35.09	0.05	8.95	0.10	26.89	0.32	8.95	0.07
1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-	-	-	35.27	0.08	-	-	-	-	-	-
5-Methyl-5-[(E)-2-(2-furyl)ethenyl]-1,1-dichloro-4,6-dioxaspiro[2,4] heptane	-	-	35.61	0.03	-	-	-	-	-	-
cis-Ocimene	-	-	-	-	11.09	0.40	-	-	11.10	0.52
1,7,7-Trimethylbicyclo[2,2,1]heptan-2-ol	-	-	-	-	16.02	0.26	-	-	-	-
3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)	-	-	-	-	16.10	0.22	16.10	0.19	-	-
Endobornyl acetate	-	-	-	-	17.82	0.25	-	-	17.83	0.32
4-Pentylamino-3-chloroacetamido	-	-	-	-	21.19	0.02	-	-	-	-
2-naphthoquinone	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neryl acetate	-	-	-	-	22.39	0.37	22.39	0.25	22.39	0.41
Zingiberene	-	-	-	-	23.22	0.07	-	-	-	-
delta,-Cadinene	-	-	-	-	27.93	0.15	-	-	-	-
Butanoic acid, 3-methyl-, 1-ethenyl-1,5- dimethyl-4-hexenyl ester	-	-	-	-	26.90	0.54	-	-	-	-
1-Oxaspiro[2,5]octane, 5,5-dimethyl-4-(3-methyl-1,3-butadienyl)-	-	-	-	-	28.21	0.10	28.20	0.27	28.19	0.12
1-Methyl-6,beta,-(4,4-dimethyl-3-oxocyclopentene-1-yl)-1-,beta,-bicyclo[3,1,0]he	-	-	-	-	28.39	0.06	-	-	-	-
cis-Z,-alpha,-Bisabolene epoxide	-	-	-	-	31.27	0.31	-	-	-	-
Tricyclo[3,2,2,0]nonane-2-carboxylic acid	-	-	-	-	31.78	0.08	-	-	-	-
Ethyl 2-(5-ethyl-5-vinyltetrahydr ofuran-2-yl)propan-2-yl carbonate	-	-	-	-	-	-	12.90	1.64	-	-
Hotrienol	-	-	-	-	-	-	13.79	0.45	-	-
Epoxylinolol	-	-	-	-	-	-	16.04	0.38	15.98	0.79
Bicyclo[3,1,1]hept-3-en-2-one, 4,6,6-trimethyl-, (1S)-	-	-	-	-	-	-	17.21	0.08	17.23	0.13
Phosphorothioic acid, O,O,S-triethyl ester	-	-	-	-	-	-	23.39	0.20	-	-
Acetic acid, (4-iodophenoxy)-	-	-	-	-	-	-	24.49	0.40	-	-
1,2,5,6-Tetrahydropyridine, 1-methyl-6-[2-pyridyl]-	-	-	-	-	-	-	25.58	0.12	-	-
1-Acetyloxyindole	-	-	-	-	-	-	25.81	0.24	-	-
dimethyl(7,7-(2-silaprop-2-ylidene)-bis(tricyclo-[4,1,0,0(2,7)]hept-1-yl)germani	-	-	-	-	-	-	25.89	0.14	-	-
Methylmercuric iodide	-	-	-	-	-	-	27.13	0.23	-	-
Bisabolol oxide	-	-	-	-	-	-	31.27	0.22	31.26	0.10
(9R,9aS)-9-(p-Toluenesulfonyl)-2,3,5,8,9,9a-hydro-1H-pyrrolo[1,2-a]a	-	-	-	-	-	-	31.78	0.11	-	-
zepin-3-one	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-bromo-2,5 bis (dicyanomethylene)-2,5-dihydroselenophene	-	-	-	-	-	-	33.69	0.05	-	-
p-Mentha-1(7),8-diene	-	-	-	-	-	-	35.09	0.04	-	-
1,10-epoxy-2-hydroxykaunio	-	-	-	-	-	-	35.25	0.06	-	-
Dimethyl triselenide	-	-	-	-	-	-	35.30	0.07	-	-
N-(4-Bromo-3-Methyl-phenyl)-N'-(2-Hydroxy-propyl)-oxalamide	-	-	-	-	-	-	36.21	0.12	-	-
Methyl eicos-11-en-14-ynoate 1,3-Pentadiene, 3-methyl-, (E)-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.20	0.03
2-Butenal, 3-methyl-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.84	0.10
Furan, 2,5-dimethyl	-	-	-	-	-	-	-	-	6.28	0.05
2-n-heptadecanyl-4,4-dimethyloxazoline	-	-	-	-	-	-	-	-	7.74	0.17
Lilac aldehyde C	-	-	-	-	-	-	-	-	15.19	0.19
m-Toluamide	-	-	-	-	-	-	-	-	16.34	0.09
Butanoic acid, 3-methyl-, hexyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	18.30	0.32
3-(4'-Methoxyphenyl)-5-phenylisoxazoline	-	-	-	-	-	-	-	-	19.22	0.07
Acetic acid, 1,7,7-trimethyl-bicyclo[2,2,1]hept-2-yl ester	-	-	-	-	-	-	-	-	19.84	0.16
2,6-Octadien-1-Ol, 3,7-Dimethyl-, Acetate	-	-	-	-	-	-	-	-	26.89	0.19
Papaverine	-	-	-	-	-	-	-	-	30.69	0.02
4,4'-dimethyl-2,2'-biquinoliny	-	-	-	-	-	-	-	-	35.43	0.03
7-bromopentacyclo[5,4,0,0(2,6),0(3,10),0(5,9)]undecane-8,11-dione	-	-	-	-	-	-	-	-	36.68	0.06

Among the essential oil components of Lavandin samples grown in different locations and used as plant material in this study, linalool and linalyl acetate were found to be the major components, while camphor and estergole components were found more than other components. According to the results obtained in this study, linalool component was found to be between 13.66%-26.40%. Kara and Baydar (2013) and Katar et al. (2020) reported that the linalool component was between 37.1%-55.4% and 41.34%-53.10%, respectively in their similar studies and showed different results from our study. In addition to these; Kara and Baydar (2014) reported that the linalool content of lavandin and lavender samples, to which they applied drying method under different conditions, varied between 14.10-53.12% and showed values supporting the results obtained in our study. It is seen that there are similarities as well as differences between the previous similar studies in the literature and our study. Since the essential oil components may vary according to the storage conditions of the plants, growing conditions and the method of obtaining the essential oil, different results are expected.

Linalyl acetate, which is among the important essential oil components of medicinal aromatic plants, was determined among the major components in the plant samples in this study. In this study, linalyl acetate value was determined between 10.88% and 29.89%. In a similar study, Kara and Baydar (2011) determined the constituents in lavender essential oil and found similar linalyl acetate ratios (24.0%-29.0%) with our study. In addition, there are also results in the literature that support our study by reporting that lavandin samples contain 10%-30% linalyl acetate in some studies (Wichtl et al., 2004; Baydar, and Kineci, 2009; Edwards et al., 2015). Katar et al. (2020) reported in a similar study that the linalyl acetate ratios of lavandin samples varied between 1.83%-23.54% and showed lower values than our study. It has been reported in previous studies that variables such as cultivation techniques, plant parts and harvest time affect the results in obtaining different results although similar or the same species are included in the studies using essential oil plants (Orhan, 2007; Pinto et al., 2007; Atalay, 2008).

Camphor is known as a very abundant essential oil component in lavender and lavandin plants. In this study, camphor content was determined between 2.40% and 12.93%. Alatrache et al. (2007) reported that the camphor component was 12.4% in their study, Lafhal et al. (2016) reported that the camphor component was 4.7%-9.2%, Karık et al. (2017) reported that the camphor content in lavandin samples was 3.18%-11.54% in their study and showed results supporting the camphor values of the samples used in our study. In addition, in some previous studies, camphor values were found between 0.18%-6.00% and lower values were also found (Kara and Baydar, 2011; Kara and Baydar, 2014). Camphor is generally considered to be a very undesirable compound in essential oil plants. In addition, since it is known that camphor content varies depending on environmental conditions, it is thought that it is possible to grow lavandin with lower camphor values. Considering all this information, it is important to determine the appropriate production conditions for lavandin plants with low camphor content by conducting more comprehensive studies using breeding studies and cultivation techniques to reduce camphor content.

3.2. TP, TF and Antioxidant Activities of Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) Samples

In this study, dried flowers of lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) grown in Burdur central district, Kırklareli Babaeski district, Isparta central district, Antalya central district, Antalya Güzeloba locality were used as plant material. Plant samples were obtained from plants grown in 2020. TP, TF, FRAP, DPPH values were determined to the total phenolic matter, total flavonoid matter contents and antioxidant activities of the plant samples (Table 9).

Table 9. TP, TF Values and Antioxidant Activity of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.

Locations	TP (mg GAE/g sample)	TF (mg QE/g sample)	FRAP ($\mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$ sample)	DPPH SC_{50} mg/mL
Burdur	4.51±0.63	0.43±0.007	73.50±0.799	0.63±0.018
Kırklareli/Babaeski	2.74±0.07	0.65±0.008	29.09±0.501	1.56±0.032
Isparta	4.12±0.14	0.53±0.010	54.96±0.921	0.93±0.027
Antalya	4.74±0.15	0.66±0.006	60.79±0.843	0.54±0.008
Antalya/Güzeloba	2.13±0.11	0.43±0.090	27.62±0.499	1.84±0.001
Troloks				0.004±0.00

In this study, the highest TP (4.74±0.15 mg GAE/g sample) and TF (0.66±0.006 mg QE/g sample) values were observed in the samples grown in Antalya location, the lowest TP value (2.13±0.11 mg GAE/g sample) was observed in the samples grown in Antalya Güzeloba location and the lowest TF value (0.43±0.007 mg QE/g sample) was observed in the samples grown in Burdur location. Although Antalya and Antalya/Güzeloba locations are very close in terms of location, they show differences in terms of TP value. It is thought that these differences may be due to the methods applied in the cultivation of the plants or the differences in the methods applied in plant nutrition. The highest value for FRAP (73.50±0.799 $\mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$ sample) was observed in samples grown at Burdur location and the lowest value (27.62±0.499 $\mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$ sample) was observed in samples grown at Antalya/Güzeloba location. For DPPH, the lowest value (0.54±0.008 SC_{50} mg/mL) was observed in the samples grown at Antalya location and the highest value (1.84±0.001 SC_{50} mg/mL) was observed in the samples grown at Antalya/Güzeloba location.

Phenolic substance content and antioxidant activity are among the important properties of medicinal aromatic plants. Lavandin samples grown in different locations used in this study had TP values between 2.13-4.74 mg GAE/g sample, TF values between 0.43-0.66 mg QE/g sample, FRAP values between 27.62- 79.50 $\mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$ sample and DPPH values between 0.54-1.84 SC_{50} mg/mL. Bajalan et al. (2016) reported TP values between 0.48-0.54 mg GAE/mL and Çelik (2019) reported TP values between 0.43-0.89 mg GAE/mL in their studies using *Lavandula x intermedia* samples. Kırak (2018), in a similar study using lavender and lavandin samples, reported that the DPPH value for lavandin samples was between 0.89-0.93 SC_{50} mg/mL, and Çelik (2019) reported the DPPH value for lavandin samples used in his study as 0.035 ± 0.003 IC_{50} mg/mL.

Previous studies in the literature using similar plants and methods have shown different values as well as results supporting our study. It is thought that the ecological conditions in which the plants are grown, environmental factors such as rainfall and temperature, harvest maturity of the plant, post-harvest storage conditions, extraction methods used in the methods and solvents applied are effective in the emergence of these differences as well as similarities.

The statistical method to determine the relationship between more than one variable and the level of importance of this relationship is called correlation. This method is currently used in the statistical evaluation of the results of scientific studies. Pearson correlation coefficient and Spearman correlation coefficients are known as the most commonly used correlation types today. When determining whether there is a correlation between two variables, one of the variables is called dependent and the other is called independent variable. The correlation coefficient is known as a numerical value that reveals the level and direction of the relationship between the dependent variable and independent variables. The correlation coefficient is expressed by r and its value varies between -1.0 and +1.0. In this study, the relationship between the essential oil ratios and antioxidant activities of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples and the soil and climate data of the locations where they were grown were calculated using Pearson's correlation coefficient (r_p) using SPSS version 25.0 (Steel, & Torrie, 1980) software programme (Table 10).

Table 10. Correlation between TP, TF, Antioxidant Activity and Essential Oil Ratios of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.

		S	pH	TS	L	OM	AF	AP	AMRH	AMWS	MTR	MAT
Essential Oil Ratio	r_p	0.079	0.746	0.148	0.540	-0.690	-0.547	-0.952*	-0.006	0.699	0.140	0.245
	p	0.900	0.148	0.812	0.347	0.197	0.340	0.013	0.992	0.189	0.822	0.692
TP	r_p	-0.470	-0.579	-0.491	0.196	0.801	0.639	0.503	-0.689	-0.983**	-0.053	-0.160
	p	0.425	0.306	0.400	0.752	0.103	0.246	0.388	0.198	0.003	0.932	0.797
TF	r_p	0.130	-0.317	0.188	-0.862	0.289	0.512	0.838	0.532	-0.108	0.191	0.151
	p	0.835	0.603	0.762	0.060	0.637	0.378	0.076	0.356	0.862	0.758	0.808
FRAP	r_p	-0.606	-0.515	-0.652	0.486	0.635	0.454	0.209	-0.845	-0.929*	-0.167	-0.246
	p	0.279	0.374	0.233	0.406	0.250	0.442	0.735	0.072	0.023	0.789	0.690
DPPH	r_p	0.527	0.551	0.534	-0.236	-0.769	-0.655	-0.460	0.711	0.970**	0.032	0.130
	p	0.362	0.335	0.354	0.702	0.128	0.231	0.436	0.179	0.006	0.960	0.834

S: Saturation, pH: Acidity, TS: Total Salt Content, L: Lime Content, OM: Organic Matter Amount, AF: Absorbable Phosphorus, AP: Absorbable Potassium, AMRH: Average Monthly Relative Humidity, AMWS: Average Monthly Wind Speed, MTR: Monthly Total Rainfall, MAT: Monthly Average Temperature

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

When Pearson correlation coefficients between antioxidant activity and essential oil ratios of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples grown in different locations and soil properties and climatic data used in this study were analysed; it was determined that there was a negative correlation between the variable of essential oil ratio and the variable of available potassium. The correlation coefficient obtained was calculated as $r_p = -0.952$ ($p = 0.013$), ($p < 0.05$ significance level). In addition, the correlation coefficient between TP, FRAP and DPPH and monthly average wind speed variable

was calculated as $r_p = -0.983$ ($p = 0.003$), ($p < 0.01$ significance level), $r_p = -0.929$ ($p = 0.023$), ($p < 0.05$ significance level), $r_p = -0.970$ ($p = 0.006$), ($p < 0.01$ significance level), respectively.

Hierarchical clustering analysis (HCA) is a method known to classify the results obtained in studies according to their similarities. In this study, HCA was performed according to the essential oil ratios, TP, TF and antioxidant activities (FRAP, DPPH) data of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. The obtained dendrogram is shown in Figure 1.

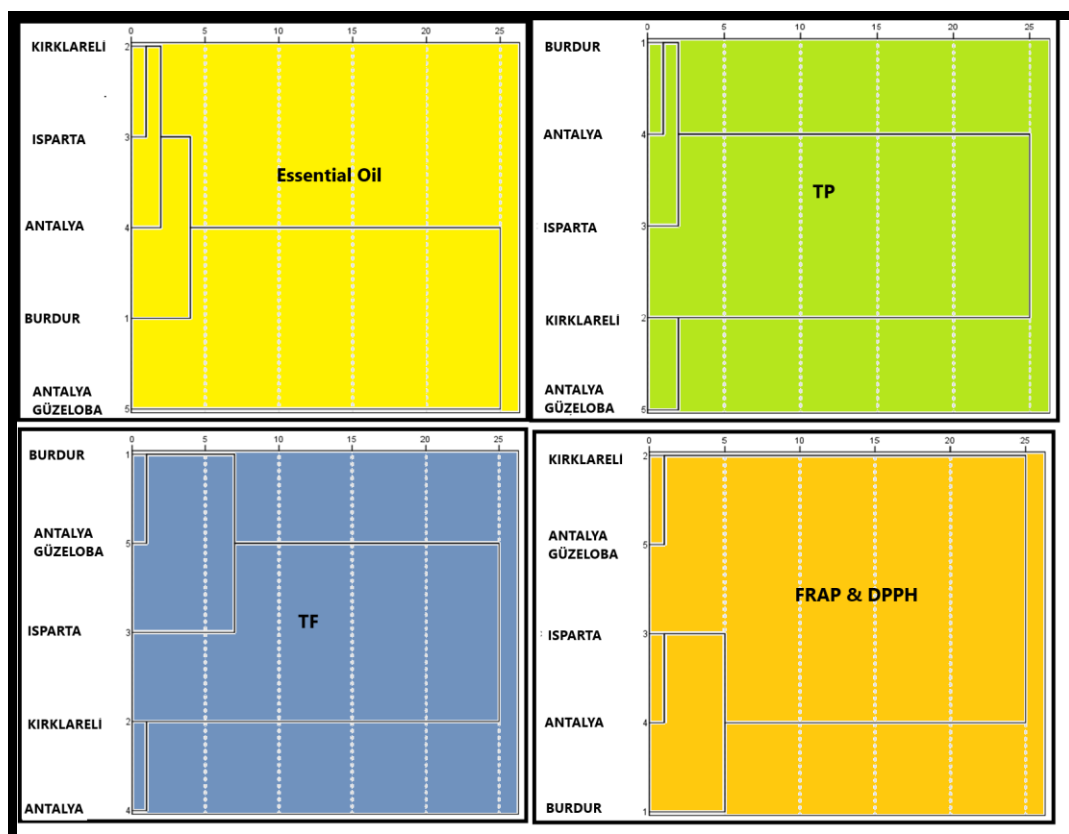


Figure 1. Dendrograms obtained according to essential oil ratio, TP, TF, FRAP and DPPH values of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples grown in different locations

According to the essential oil ratios of the lavandin samples used in this study, two main groups were observed in the equilibrium obtained. While one of these main groups was formed by the samples obtained from Antalya/Güzeloba location, the other main group was divided into two subgroups and one of these subgroups was divided into two subgroups. When the similarities and differences of the samples used in this study with each other in terms of essential oil ratios were analysed; it was seen that the samples obtained from Kırklareli and Isparta locations were the closest to each other and the samples obtained from Antalya/Güzeloba location were the most distant to these samples. According to the TP values of the lavandin samples used in this study, it was observed that there were two main groups in the equilibrium obtained. These main groups were divided into two sub-groups, and one sub-group was also divided into two sub-groups. When the similarities and differences of the samples used in this study were analysed in terms of TP values, it was seen that the samples obtained from

Antalya and Burdur locations were the closest to each other. In addition, it was observed that there were two main groups in the equilibrium obtained according to the TF values of the samples. These main groups were divided into two sub-groups, and one sub-group was also divided into two sub-groups. When the similarities and differences of the samples used in this study with each other in terms of TF values were analysed; it was seen that the samples obtained from Antalya and Kırklareli locations, Burdur and Antalya/Güzeloba locations were the closest to each other. In addition, it was observed that there were two main groups in the equilibrium obtained according to the antioxidant activity (FRAP and DPPH) values of the samples. These main groups were first divided into two subgroups, and one subgroup was also divided into two subgroups. When the similarities and differences of the samples used in this study in terms of antioxidant activity (FRAP and DPPH) values were analysed, it was seen that the samples obtained from Antalya/Güzeloba and Kırklareli locations were the closest to each other.

4. Conclusion

In this study, *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples grown in Burdur Central district, Kırklareli Babaeski district, Isparta Central district, Antalya Central district and Antalya Güzeloba locality were used as plant material. The similarities and differences of these samples were determined according to their essential oil ratios and essential oil components as well as TP, TF and antioxidant activities (FRAP and DPPH) values. The different climatic and soil characteristics of the localities revealed differences in the parameters evaluated. In addition, some samples were found to be similar to the determined parameters.

According to the HCA analysis between the lavandin samples; it was observed that the samples produced in Kırklareli and Isparta locations were the most similar to each other in terms of essential oil ratios, the samples produced in Antalya and Burdur locations according to TP values, the samples produced in Antalya/Güzeloba and Burdur locations according to TF values, and the samples were grown in Antalya/Güzeloba and Kırklareli locations according to DPPH and FRAP values. Although there were differences between the locations in terms of climate and soil characteristics, many similarities were observed.

When the data obtained in this study are evaluated; according to the essential oil ratio, linalool content, TP, FRAP and DPPH values, the idea that Burdur location is suitable for the cultivation of lavandin plant emerges.

Although the lavandin samples contained different amounts of essential oil components, the main components were observed to be linalyl acetate and linalool. These main components indicate that *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. samples used in the study may be suitable for use in the perfumery industry, especially if they have lower camphor content. Especially the lowest camphor content was observed in the samples grown in Kırklareli location. This shows that the samples grown

in Kırklareli location can be evaluated for lavandin production studies with low camphor content and high linalool content.

Lavandula x intermedia Emeric ex Loisel. is known as a plant with high camphor content compared to lavender. Considering that camphor content varies depending on conditions such as environmental conditions, cultivation techniques and harvest time, it is thought that it is possible to obtain higher quality essential oil with lower camphor content from *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. plants by providing suitable conditions. It has been observed that there are some deficiencies in the literature on *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. It is important to carry out similar and more comprehensive studies to fill this gap in the literature. It is thought that the studies such as total phenolic matter, antioxidant activity, essential oil ratios and constituents by using *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. plant material grown in wider locations can fill the deficiencies in this subject to a great extent.

In future studies to be carried out with lavandin plant; more comprehensive researches can be carried out on the reduction of camphor content by considering the effect of environmental factors. In addition, it is thought that researches including more comprehensive quality and content analyses will provide support to the literature in order to expand the usage areas of this plant.

Acknowledgements

This study is derived from Master's thesis prepared by Nilay Özlem SAĞLAM under the supervision of Betül GIDİK at Bayburt University, Department of Organic Agriculture Management.

Conflict of interest

The authors declare that have no competing interests.

Consent for publication

The authors declare that B.G. wrote the manuscript, N.Ö.S. provided the plants, B.G. and N.Ö.S. performed the chemical analyses together, and B.G. performed the statistical analyses.

References

- Acıbuca V., Bostan Budak D. Dünya’da ve Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin yeri ve önemi. Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi 2018; 33(1): 37-44.
- Aćimović M., Lončar B., Stanković Jeremić J., Cvetković M., Pezo L., Pezo M., Todosijević M., Tešević V. Weather conditions influence on lavandin essential oil and hydrolate quality. Horticulturae 2022; 8(4): 281.
- Alatrache A., Jamoussi B., Tarhouni R., Abdrabba M. Analysis of the essential oil of *Lavandula latifolia* from Tunisia. J Essen. Oil Bearing Plants 2007; 10(6): 446-452.

- Annegowda HV., Mordi MN., Ramanathan S., Hamdan MR., Mansor SM. Effect of extraction techniques on phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of *Bauhinia purpurea*: HPLC determination of antioxidants. *Food Anal. Methods* 2012; 5, 226–233.
- Aslan R., Karakuş Z. Gelenekten günümüze tıbbi ve aromatik bitkiler. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi* 2019; 6(73): 60-66.
- Atalay AT. Konya ekolojik şartlarında yetiştirilen lavanta (*Lavandula angustifolia* Mill.)’da farklı dozlarda uygulanan organik ve inorganik azotlu gübrelerin verim ve kalite özellikleri üzerine etkileri. S.Ü. Fen Bilim. Ens., Tarla Bit. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 178565). Konya; 2008.
- Bajalan I., Mohammadi M., Alaei M., Pirbalouti AG. Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of extracts from different populations of lavandin. *Industrial Crops and Products* 2016; 87, 255-260.
- Baydar H. Lavanta. Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi (Genişletilmiş 3. Baskı). SDÜ Yayınları No: 51, Isparta 2009; 274-278.
- Baydar H. Tıbbi, aromatik ve keyf bitkileri bilimi ve teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Yayın No:51, Isparta; 2013.
- Baydar H., Kineci S. Scent composition of essential oil, concrete, absolute and hydrosol from lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 2009; 12 (2): 131-136.
- Benzie IF., Strain J. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of a antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology* 1999; 299, 15-27.
- Bozari S., Agar G., Aksakal O., Erturk FA., Yanmis D. Determination of chemical composition and genotoxic effects of essential oil obtained from *Nepeta nuda* on *Zea mays* seedlings. *Toxicology and Industrial Health* 2013; 29(4): 339-348.
- Cuendet M., Hostettmann K., Potterat O., Dyatmiko W. Iridoid glucosides with free radical scavenging properties from *Fagraea blumei*. *Helvetica Chimica Acta* 1997; 80(4): 1144-1152.
- Çelik M. *Lavandula x intermedia*, *Mentha x piperita* ve *Origanum onites*’in toplam fenolik bileşik ve antioksidan özelliklerinin belirlenmesi. Biyoloji Anabilim Dalı Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 587905). Eskişehir; 2019.
- Edwards SE., Rocha IC., Williamson EM., Heinrich M. *Phytopharmacy an evidence-based guide to herbal medicinal products*, pp. 237-240, UK: John Wiley & Sons; 2015.
- Eldeghedy HI., El-Gendy ANG., Nassrallah AA., Aboul-Enein AM., Omer AE. Comparative chemical profiles of *lavandula* species essential oils grown in Egypt and others from France and Australia: Evidence from chemometric analysis. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 2022; 25(1): 52-63.

- Fernández-Sestelo M., Carrillo JM. Environmental effects on yield and composition of essential oil in wild populations of spike lavender (*Lavandula latifolia* Medik.). *Agriculture* 2020; 10, 626.
- Fukumoto L., Mazza G. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000; 48(8): 3597-3604.
- Gedikoğlu İ. Toprak verimliliğinin tayininde kullanılan laboratuvar analiz yöntemleri. KHGM, Şanlıurfa Araş. Enst. Müd. Yay. Genel Yayın No: 55, Teknik Yayın No:11, Şanlıurfa; 1990.
- Gerçek YC., Şahin AA., Bayram NE., Çelik S., Sefalı A., Gıdık B., Öz GC., Pınar NM. Anatomy, trichome micromorphology and phytochemical profile of *Stachys rizeensis* R. Bhattacharjee from Turkey. *South Africa Journal of Botany* 2022; 149: 19–28.
- Gıdık B., Akar Z., Can Z., Sefalı A., Erturk O. Determination of antioxidant, antimicrobial activities, phenolic compounds of wild *Rosa* L. species Bayburt, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2019; 28(12): 9973-9982.
- Gubišová M., Čičová I. Multiplication of lavender (*L. angustifolia*) and lavandin (*Lavandula x intermedia*) in explant culture. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)* 2023; 69(1): 1-12.
- IUPAC Standard method 2.301. Standards methods for the analysis of oils, fats and derivatives (7th ed.) International Union of Pure and Applied Chemistry, Blackwell, Oxford, England (1992) (1st supplement. to the 7th ed.)
- Kara N., Baydar H. Türkiye'de lavanta üretim merkezi olan Isparta ili Kuyucak yöresi lavantalarının (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel) uçucu yağ özellikleri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2011; 25(4): 42-46.
- Kara N., Baydar H. Lavantanın uçucu yağ oranı ve kalitesine distilasyon suyuna eklenen katkı maddelerinin etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2013; 8(2): 52-58.
- Kara N., Baydar H. Kuruma yöntemleri, depolama koşulları ve sürelerinin lavanta (*Lavandula* spp.)'nin uçucu yağ oranı ve bileşenlerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2014; 24(2): 185-192.
- Karık Ü., Çiçek F., Çınar O. Menemen ekolojik koşullarında lavanta (*Lavandula* spp.) tür ve çeşitlerinin morfolojik, verim kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi* 2017; 27(1): 17-28.
- Katar D., Can M., Katar N. Farklı lokasyonların Lavandin (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.)'de uçucu yağ oranı ve kimyasal kompozisyonu üzerine etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 2020; 6(3): 546-553.
- Kıvrak Ş. Essential oil composition and antioxidant activities of eight cultivars of Lavender and Lavandin from western Anatolia. *Industrial Crops and Products* 2018; 117, 88-96.
- Lafhal S., Vanloot P., Bombarda I., Kister J., Dupuy N. Identification of metabolomic markers of lavender and lavandin essential oils using mid-infrared spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy* 2016; 85, 79-90.

- Lane AW., Mahmoud SS. Composition of essential oil from *Lavandula angustifolia* and *L. intermedia* varieties grown in British Columbia, Canada. *Nat. Prod. Commun* 2008; 3, 1361–1366.
- Najar B., Demasi S., Caser M., Gaino W., Cioni PL., Pistelli L., Scario cultivation substrate composition influences morphology, volatilome and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. *Agronomy* 2019; 9, 411.
- Orhan S. Karabaş otu (*Lavandula stoechas* L.) bitkisinin farklı in vitro besin ortamlarında kültüre alınması. E.Ü. Fen Bilim. Ens. Biyomühendislik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 202043). İzmir; 2007.
- Pinto JG., Fröhlich EL., Leckebusch GC., Ulbrich U. Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPI-OM1 GCM, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2007; 7, 165–175,
- Pokajewicz K., Białoń M., Svydenko L., Hudz N., Balwierz R., Marciniak D., Wieczorek PP. Comparative evaluation of the essential oil of the new Ukrainian *lavandula angustifolia* and *Lavandula x intermedia* cultivars grown on the same plots. *Molecules* 2022; 27(7): 2152.
- Regulation H. Commission Regulation (EEC) No. 2568/91 of 11 July 1991 on the characteristics of olive oil and olive-residue oil and on the relevant methods of analysis Official Journal L 248, 5 September 1991. Official Journal L, 1991; 248, 1-83.
- Salata A., Buczkowska H., Nurzynska-Wierdak R. Yield, essential oil content, and quality performance of *Lavandula angustifolia* leaves, as affected by supplementary irrigation and drying methods. *Agriculture* 2020; 10, 590.
- Singleton VL., Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 1965; 16(3): 144-158.
- Slinkard K., Singleton VL. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture* 1977; 28(1): 49-55.
- Sönmez Ç., Şimşek Soysal AÖ., Okkaoğlu H., Karık Ü., Taghiloofar AH., Bayram E. Determination of some yield and quality characteristics among individual plants of lavender (*Lavandula angustifolia* mill.) populations grown under mediterranean conditions in Turkey. *Pakistan Journal of Botany* 2018; 50(6): 2285-2290.
- Steel RGD., Torrie JH. Principles and procedures of statistics, 2nd edn. Mc Graw Hill, New York, 663; 1980.
- Telci I., Demirtas I., Bayram E., Arabaci O., Kacar O., Environmental variation on aroma components of pulegone/piperitone rich spearmint (*Mentha spicata* L.). *Industrial Crops and Products* 2010; 32: 588592.
- Toker R., Gölükcü M., Tokgöz H. Tıbbi ve aromatik bitkilerin gıda sanayisinde kullanım alanları. *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi* 2015; 4(15): 54-59.

- Ülgen N., Yurtsever N. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, Ankara; 1995.
- Wang K., Xie X., Zhang Y., Huang Y., Zhou S., Zhang W., Lin Y., Fan H. Combination of microwave-assisted extraction and ultrasonic-assisted dispersive liquid-liquid microextraction for separation and enrichment of pyrethroids residues in Litchi fruit prior to HPLC determination. *Food Chem.* 2018; 240, 1233–1242.
- Wichtl M., Brinckmann JA., Lindenmaier MP. *Herbal drugs and phytopharmaceuticals* (3. baskı), pp. 162, 163- 330, 331, USA: CRC Press., 2004.
- Yuca H., Sefalı A., Aydın B., Karadayı M., Gülşahin Y., Yazıcı A., Güvenaalp Z. Phytochemical analysis and biological evaluation of essential oils and extracts from *Heracleum pastinacifolium* subsp. *incanum* (Boiss. & A.Huet) P.H.Davis, an endemic plant from Turkey. *Natural Product Research*, 2024; 1–11.
- Yurdakul İ. Toprak gübre su bitki organik materyal ve mikrobiyoloji analiz metotları. Laboratuvar el kitabı. Tarım ve Orman Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Teknik yayın no. T-72. Ankara; 2018.

Enzimatik Sentez Metodu Kullanılarak MWCNT ile Fonksiyonelleştirilen 2-Aminofluoren Tabanlı Malzemeler ve Organik Güneş Hücrelerine Uygulamaları

Betül CANIMKURBEY^{1*}, Recep TAŞ², Melek GÜL^{3*}

¹ Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 06900, Ankara

² Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, 74100, Bartın

³ Amasya Üniversitesi, Polatlı Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 05100, Amasya

¹<https://orcid.org/0000-0002-6102-5709>

²<https://orcid.org/0000-0002-3743-7770>

³<https://orcid.org/0000-0002-0037-1202>

*Sorumlu yazar: bcanimkurbey@gmail.com; melek.gul@amasya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.11.2024

Kabul tarihi: 20.02.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

2-Aminofluoren

Organik güneş hücreleri

Çok duvarlı karbon nanotüpler

Enzimatik sentez

Döngüsel voltammetri

ÖZ

Bu araştırma, organik güneş hücrelerinde (OSC'ler) potansiyel uygulamaları için 2-aminofluoren (PAF) bazlı bileşiklerin sentezi ve karakterizasyonuna odaklanmaktadır. PAF matrisinin yapısal, elektriksel, kimyasal ve optik özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek için çeşitli konsantrasyonlarda çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWCNT) içeren PAF sentezine yönelik yeni bir enzimatik yaklaşım önermektedir. Elde edilen modifiye bileşikler daha sonra OSC cihazlarının aktif katmanına dahil edildi. Taramalı elektron mikroskopu (SEM), UV-Vis spektroskopisi, döngüsel voltametri (CV) ve termal analiz dahil olmak üzere kapsamlı karakterizasyon teknikleri, MWCNT dahil edilmesinin etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Özellikle, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi, PAF3'ün 155,60 °C'de en yüksek erime noktasını (T_m) gösterirken, PAF1'in 26,14 °C'de en yüksek cam geçiş sıcaklığını (T_g) gösterdiğini ortaya koymuş ve bu da bu malzemeler için olumlu termal kararlılık ve işleme özelliklerini göstermiştir. Ek olarak, enerji boşluğunun (E_{gap}) PAF3 için 5,51 eV'de en düşük olduğu bulunmuştur; PAF1'in E_{gap} 'ı 7,65 eV idi ve bu da PAF3 için iyileştirilmiş yük taşıma özelliklerini önerilmiştir. Sonuçlar, OSC'lerin fotovoltaiik performans parametrelerinde önemli iyileştirmeler göstererek, MWCNT'lerin güneş enerjisi uygulamaları için PAF bazlı malzemelerin özelliklerini optimize etmedeki yararlı rolünü vurgulamıştır.

Enzymatic Synthesis and Functionalization of 2-Aminofluorene-Based Compounds with Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNT) for Enhanced Performance in Organic Solar Cells

Research Article

Article History:

Received: 21.11.2024

Accepted: 20.02.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

2-Aminofluorene

Organic solar cells

Multi-walled carbon nanotubes

Enzymatic synthesis

Cyclic voltammetry

ABSTRACT

This research focuses on the synthesis and characterization of 2-Aminofluorene (PAF)-based compounds for their potential application in organic solar cells (OSCs). We present a novel enzymatic approach to the synthesis of PAF, which incorporates multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) at varying concentrations to modify and enhance the structural, electrical, chemical, and optical properties of the PAF matrix. The resultant modified compounds were subsequently incorporated into the active layer of OSC devices. Comprehensive characterization techniques, including scanning electron microscopy (SEM), UV-Vis spectroscopy, cyclic voltammetry (CV), and thermal analysis, were employed to evaluate the effects of MWCNT incorporation. Notably, differential scanning calorimetry (DSC) analysis

revealed that PAF3 exhibited the highest melting point (T_m) at 155.60 °C, while PAF1 demonstrated the highest glass transition temperature (T_g) at 26.14 °C, indicating favorable thermal stability and processing characteristics for these materials. Additionally, the energy gap (E_{gap}) was found to be lowest for PAF3 at 5.51 eV, compared to PAF1, which exhibited an E_{gap} of 7.65 eV, suggesting improved charge transport properties for PAF3. The results demonstrated significant enhancements in the photovoltaic performance parameters of the OSCs, underscoring the beneficial role of MWCNTs in optimizing the properties of PAF-based materials for solar energy applications.

To Cite: Canımkurbey B., Taş R., Gül M. Enzymatic Synthesis and Functionalization of 2-Aminofluorene-Based Compounds with Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNT) for Enhanced Performance in Organic Solar Cells. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 856-867.

1. Introduction

Due to their low cost, adaptable structure, and the lightweight and flexible nature of their modules, organic solar cell (OSC) devices have seen rapid development (Del et al., 2010). In OSCs, which are formed by laying down organic semiconductors between electrodes, the utilize of semiconductors as active layers has notably provided to the advancement of OSCs. This is largely because of the variety and versatility of polymers, their applicability over broad and flexible surfaces, ease of production, and quick processing methods (MacDiarmid and Heeger 1980; Gerard et al., 2002; Winder and Sariciftci 2004; Sonmez et al., 2005).

Since the charge diffusion capacity in polymers is limited, the photon-absorbing active layer in OSC devices requires a homogeneous donor-acceptor structure to facilitate efficient charge separation. When photons reach the polymer layer of the OSC's active layer, excitons are generated, which then separate into electrons and holes in the presence of an electric field from the electrodes. Electrons collect at the anode, while holes accumulate at the cathode, resulting in an electrical current generated from this charge transfer process (Meissner et al., 1992; Sariciftci et al., 1993; Schilinsky et al., 2002; Gregg and Hanna 2003; Spanggaard and Krebs 2004). Transparent conductive polymers have been investigated to facilitate charge transfer in OSC devices (Tian et al., 2004).

Polymers generally exhibit good solubility in solutions. In this work, the layers of OSCs were prepared using the spin-coating technique, while the aluminum electrode were deposited via thermal evaporation, as these methods are both economical and efficient (Parker 1994; Mattox 1998; Hadziioannou and Malliaras, 2006).

Poly(2-aminofluorene) (PAF), as a conjugated polymer, attracts attention with its optoelectronic properties and applications. Enzymatic methods are generally preferred in the synthesis of PAF, especially the oxidative polymerization method using horseradish peroxidase (HRP) enzyme is common. This method increases the reaction rate, minimizes the formation of by-products and provides high purity polymer. The optical band gap of PAF is typically around 2.6 eV, and its fluorescence properties can vary depending on the type of solvent, allowing the material to be used in a variety of electronic applications (Wei et al., 2020).

The HOMO-LUMO energy levels can be adjusted to desired values by synthesizing various organic molecules (Balzani, 2001). Charge efficiency along the polymer semiconductor chain is executed through the delocalization of π -electrons (Benigni, 2005). Polyfluorenes are unique conjugated polymers known for their low operating voltages and high efficiency. Modifications in polymer processability are enabled by the methylene bridge in the fluorene structure. Alkyl chains attached to the C9 position increase the polymer's solubility in various organic solvents without disrupting π -bond delocalization, thereby enhancing processability (Inaoka and Advincula, 2002).

The integration of conjugated polymers and carbon nanotubes to enhance the performance of organic solar cells (OSCs) has been extensively investigated in the literature. However, the majority of these studies have relied on conventional chemical synthesis methods, which often present challenges related to environmental sustainability and the attainment of high-purity materials. In particular, research on the enzymatic synthesis of 2-aminofluorene-based materials remains scarce, and the potential synergistic effects of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) in OSC applications have yet to be thoroughly explored.

This study presents the enzymatic synthesis of 2-aminofluorene derivatives, achieving high purity and minimal by-product formation, followed by their integration with MWCNTs to optimize optical, thermal, and electrochemical properties. By employing an environmentally sustainable approach, this work makes a significant contribution to enhancing the efficiency of OSCs. Furthermore, it addresses the gap in the literature regarding enzymatic synthesis and provides novel insights into the integration of 2-aminofluorene-based materials with nanostructures, advancing the field of OSC materials design and development. Multi-walled carbon nanotubes were mixed to the poly(2-aminofluorene) synthesis, as they exhibit semiconductor behavior that enhances electrical conductivity and improve crystallinity of the active layer, thereby strengthening the composites (White et al., 1993; Dekker 1999; Martel et al., 2001; Jun et al., 2012). The enzymatic method was chosen for synthesis due to its accelerated reaction rate and absence of by-product formation after synthesis completion.

2. Materials and Methods

A mixture containing specific ratios of 2-aminofluorene, horseradish peroxidase enzyme, and sodium phosphate buffer in 1,4-dioxane was prepared, to which H_2O_2 was gradually added over a three-hour period while continuously stirring the solution. The resulting polymer was then filtered, washed, and vacuum-dried, completing the enzymatic synthesis of PAF. Subsequently, multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) were dispersed in 1,4-dioxane using ultrasonic treatment for 30 minutes to ensure homogeneous dispersion and prevent agglomeration. The dispersed MWCNT solutions were then added to the PAF matrix in varying mass ratios (0.5:1, 1:1, and 2:1) under continuous stirring. The mixtures were stirred at 500 rpm for 2 hours to promote uniform distribution and interaction between the MWCNT and PAF. Finally, the composite materials were filtered, washed with deionized water, and vacuum-dried at 50 °C, resulting in three additional polymer variants, as indicated in Table 1.

A systematic methodology was employed to determine the optimal concentrations of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) to enhance the optical, electrical, and thermal properties of the active layer materials in organic solar cells (OSCs). MWCNTs are renowned for their high surface area and exceptional electrical conductivity. By introducing MWCNTs at controlled ratios, the study aimed to improve the efficiency of electron transport pathways within the polymer matrix. Notably, lower concentrations of MWCNTs were strategically utilized to achieve a balance between conductivity enhancement and the mitigation of potential issues such as phase separation and agglomeration, which are commonly associated with excessive MWCNT loading.

Table 1. Sample codes created by mixing varying mass ratios of MWCNT to the polymer synthesized via enzymatic method.

Sample	PAF	MWCNT
PAF1	1	1
PAF2	1	2
PAF3	1	0,5

For OSC device fabrication, the ITO-coated glass substrates were sequentially cleaned in ultrasonicator with acetone, deionized water, and ethanol, then desiccated with N₂ gas. To further clean the ITO surface, all substrates were treated with ozone plasma for 5 minutes. Following this treatment, the hole transport layer, poly (styrenesulfonate) (PEDOT: PSS), was spin-coated at 2000 rpm for 60 seconds, then annealed at 120 °C for 20 minutes. Using the identical methods, a poly(3-hexylthiophene) (P3HT)/1-(3-methoxycarbonyl) propyl-1-phenyl[6,6]C₆₁ (PCBM)/PAF solution in a 1:1:0.5 ratio in dichlorobenzene was prepared and annealed at 110 °C for 10 minutes. Lastly, using a shadow mask, a 100 nm thick aluminum (Al) cathode was thermally evaporated onto the final layer of the OSC device. The same fabrication process, including layer composition and material ratios, was applied to PAF1, PAF2, and PAF3 samples as active layers, resulting in the formation of three additional OSC devices with different active layers.

3. Results and Discussions

The UV-VIS analyses of the synthesized samples were conducted using a UV-VIS spectrophotometer. For this analysis, four polar solvents dichloromethane (DCM), acetonitrile (ACN), acetone, and dimethylformamide (DMF) were selected to prepare the samples. The excitation and emission spectrum of the PAFs were also recorded in these solvents. Figure 3 displays the UV analysis graphs obtained using (a) DCM, (b) ACN, (c) acetone, and (d) DMF as solvents.

According to the UV analysis graphs, the maximum absorbance of the compounds occurs below the visible region (Figure 1). Among the solutions prepared with different solvents, the highest absorbance, observed within the 200-400 nm range, belongs to the PAF sample prepared with DCM (a). When

considering all samples, it was noted that the absorbance of the solutions prepared with ACN (b) was higher than that observed with other solvents.

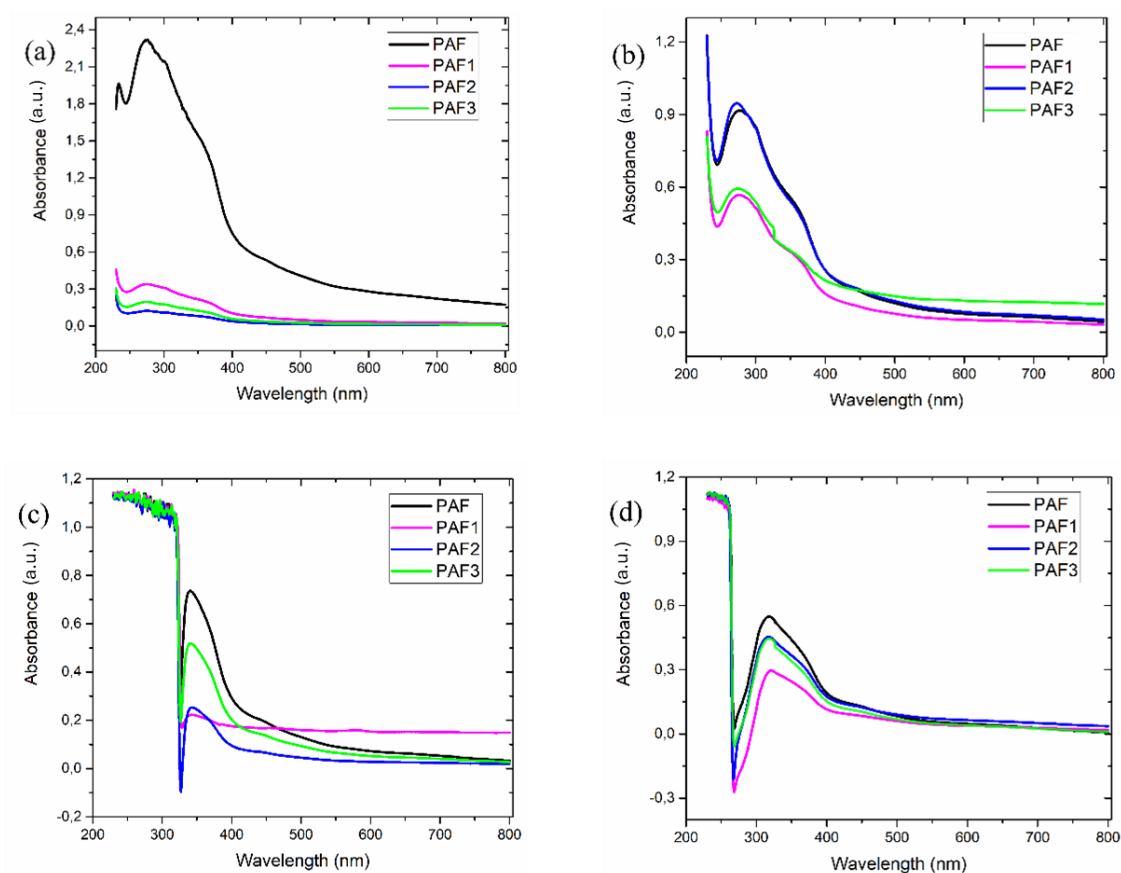


Figure 1. Absorption spectra of the samples formulated in (a) DCM, (b) ACN, (c) acetone, and (d) DMF solutions.

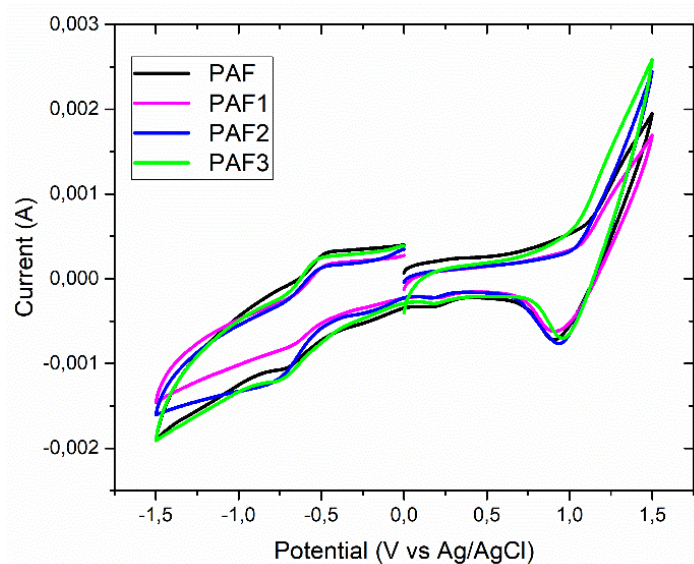


Figure 2. Cyclic voltammetry (CV) analysis graphs of samples.

The Cyclic Voltammetry (CV) analysis of the synthesized samples was performed. A glassy carbon, Ag/AgCl and platinum was used as the working electrode, the counter electrode and the reference electrode, respectively. The solutions were put together in DMF containing TBAP, with compound concentrations at 5×10^{-5} M and a sample concentration of 40 ppm. Scanning was conducted over a range of -1.5V to +1.5V at a rate of 10 mV/s, and the resulting distributions for the samples are presented in Figure 2.

According to the CV analysis graph in Figure 2, the anodic peak shifts toward the positive potential, while the cathodic peak shifts toward the negative potential, indicating that the synthesized compounds exhibit electrochemical stability. By determining the oxidation (E_{ox}) and reduction (E_{red}) values from the voltammograms, the E_{gap} , HOMO, and LUMO values were calculated using the equations below and are presented in Table 2 (Cowan and Drisko 1970). Variations in the HOMO-LUMO levels and optical band gaps, as shown in Table 2, are attributed to the different substituted alkyl chains.

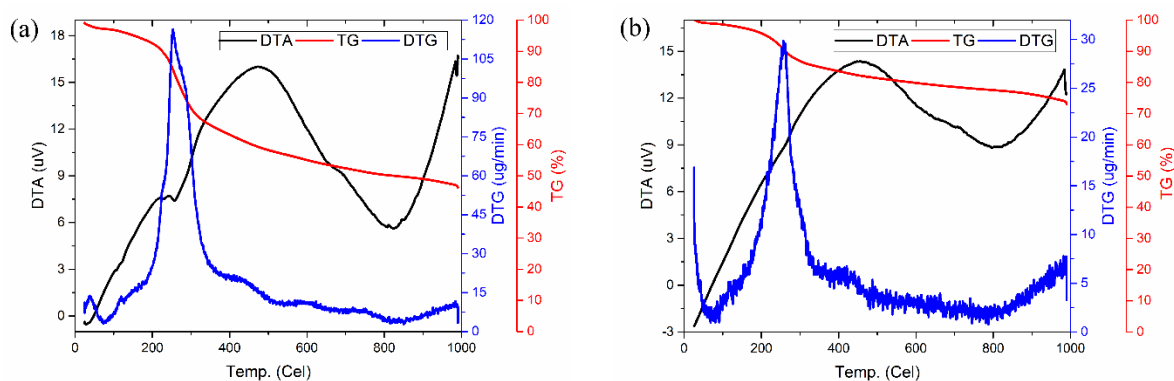
$$E(\text{HOMO}) = -e[E_{ox}^{onset} + 4.4] \quad (1)$$

$$E(\text{LUMO}) = -e[E_{red}^{onset} + 4.4], \quad (2)$$

Table 2. CV analysis results for the samples.

Sample	E_{ox} (V)	E_{red} (V)	HOMO (eV)	LUMO (eV)	E_{gap} (eV)
PAF	3.11	-7.17	7.61	-2.67	10.28
PAF1	1.56	-6.09	6.06	-1.59	7.65
PAF2	1.49	-7.61	5.99	-3.11	9.10
PAF3	2.52	-2.99	7.02	1.51	5.51

The thermogravimetric (TG), differential thermal analysis (DTA), and derivative thermogravimetry (DTG) graphs of the synthesized samples are presented in Figure 3 for samples.



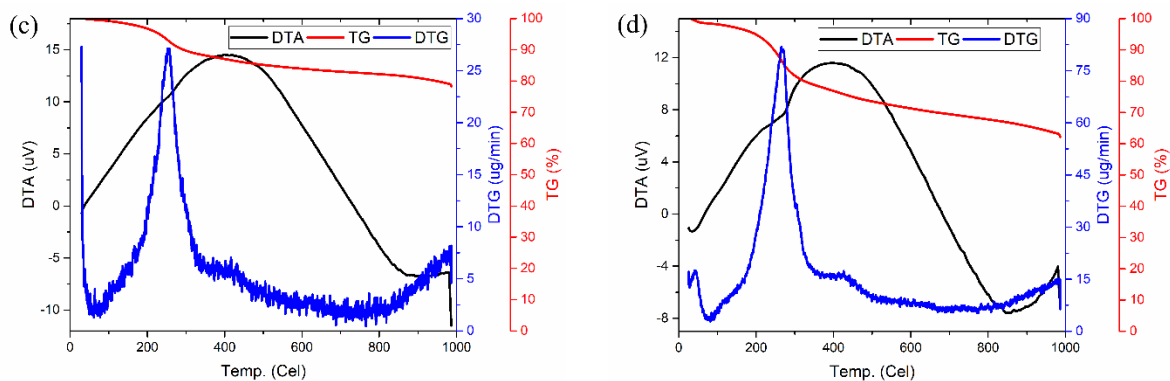


Figure 3. DTA, TG, and DTG thermal analysis graphs of (a) PAF, (b) PAF1, (c) PAF2, and (d) PAF3 samples.

Differential scanning calorimetry (DSC) analyses were performed to determine the thermal properties of the synthesized samples, and DSC graphs for samples are shown in Figure 4. According to Table 4, the maximum mass loss of the samples consist of two stages: the first decomposition is between 200-229 °C, while the second stage ranges between 653-906 °C. The thermal analysis results indicate that due to polymer morphology, the decomposition temperatures in the second stage are higher for the synthesized PAF1, PAF2, and PAF3 samples. The values determined by DTG provide insights into the material's glass transition temperatures, which range from 254-268 °C.

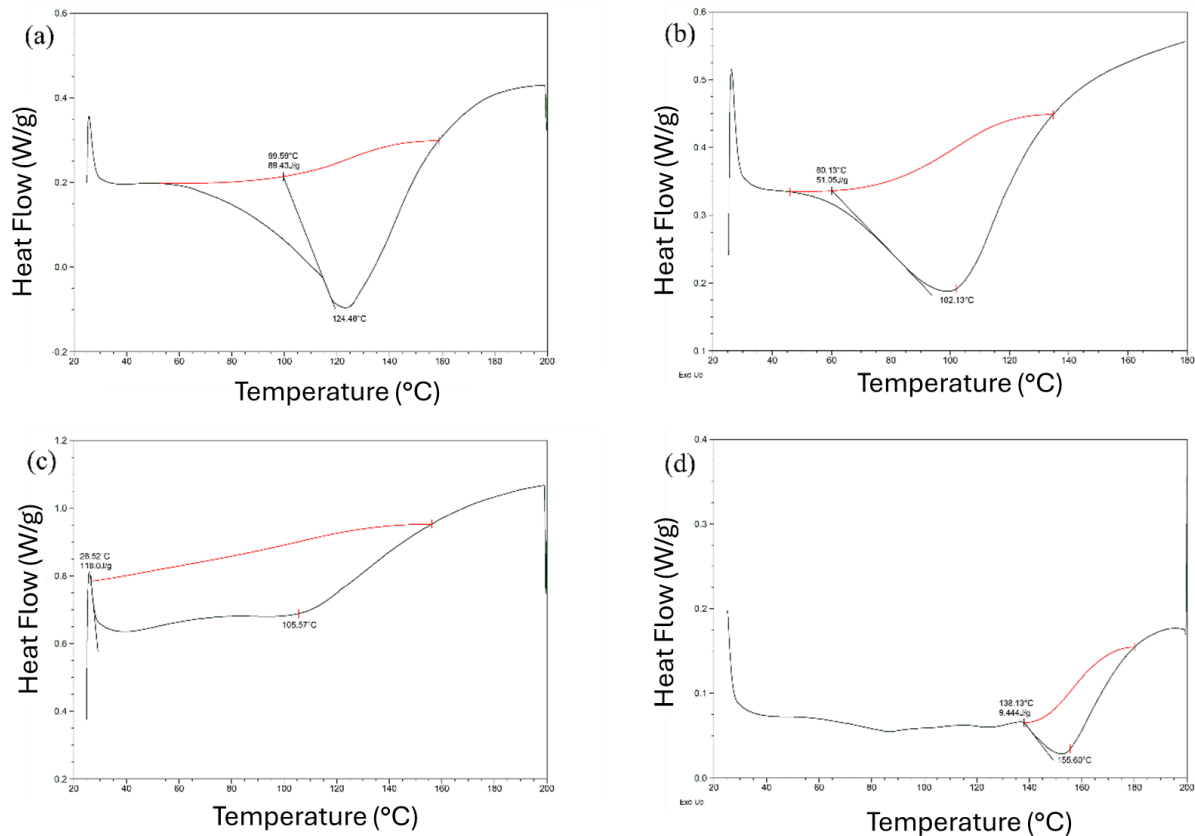


Figure 4. DSC graphs for (a) PAF, (b) PAF1, (c) PAF2, and (d) PAF3 samples.

Table 3. Decomposition, melting, and glass transition temperatures (T_g) for the synthesized samples.

Sample	T_g degree of bonded decomposition	DTG	DSC (Melting Point)	DSC (Glass Transition Temperature)
PAF	229,8-653,3	254,14	124,48	25,59
PAF1	208,8-906,3	261,671	102,13	26,14
PAF2	200,8-911,9	265,91	105,57	25,91
PAF3	219,9-939,0	268,50	155,60	25,34

Based on the thermal analysis shown in Figure 3 and the DSC graphs in Figure 4, the decomposition temperatures, mass losses, and glass transition temperatures (T_g) of the samples are provided in Table 3.

X-ray diffraction (XRD) spectral analyses were performed on the synthesized samples, and the spectra for (a) PAF1, (b) PAF2, and (c) PAF3 are shown in Figure 5.

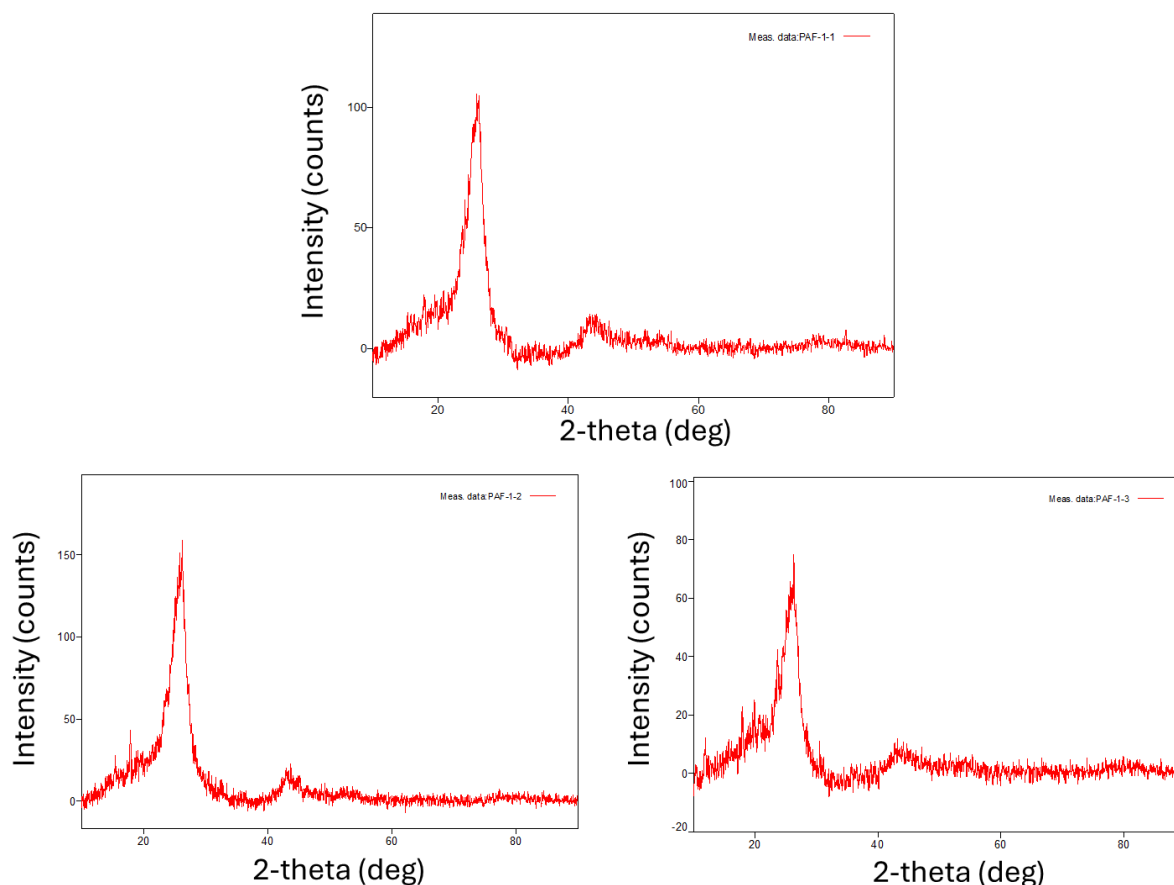


Figure 5. XRD spectrum graph of the samples (a) PAF1, (b) PAF2, and (c) PAF3.

The SEM images of the synthesized PAF sample at (a) 2 μm and (b) 10 μm scales are shown in Figure 6. SEM images obtained for PAF composites provide important information about the material surface

morphology. In the images, it is observed that PAF exhibits a smooth, homogeneous and dense structure. This structure can be explained as a result of the conjugated network structure formed during polymerization and is consistent with the morphology observed in similar polymers reported in the literature (Bilici et al. 2010). The presence of MWCNTs improves the light absorption capacity and electrical conductivity by increasing the surface area. Similar studies in the literature have also stated that carbon nanotube addition significantly increases the mechanical and electrical properties of the polymer matrix (Martel et al., 2001).

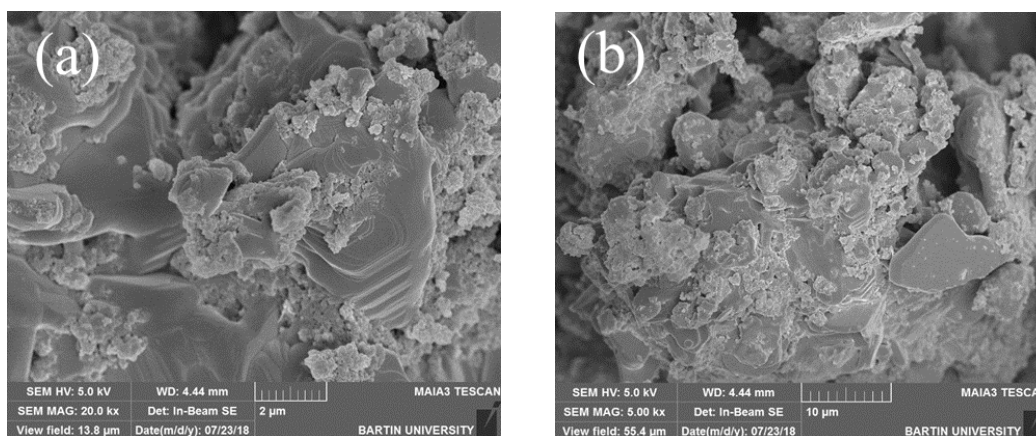


Figure 6. SEM images of the PAF sample at (a) 2 μm and (b) 10 μm scales.

At 25 $^{\circ}\text{C}$, under the spectral intensity of AM 1.5 sunlight, Figure 7 shows the J-V curves for the OSC devices fabricated with samples.

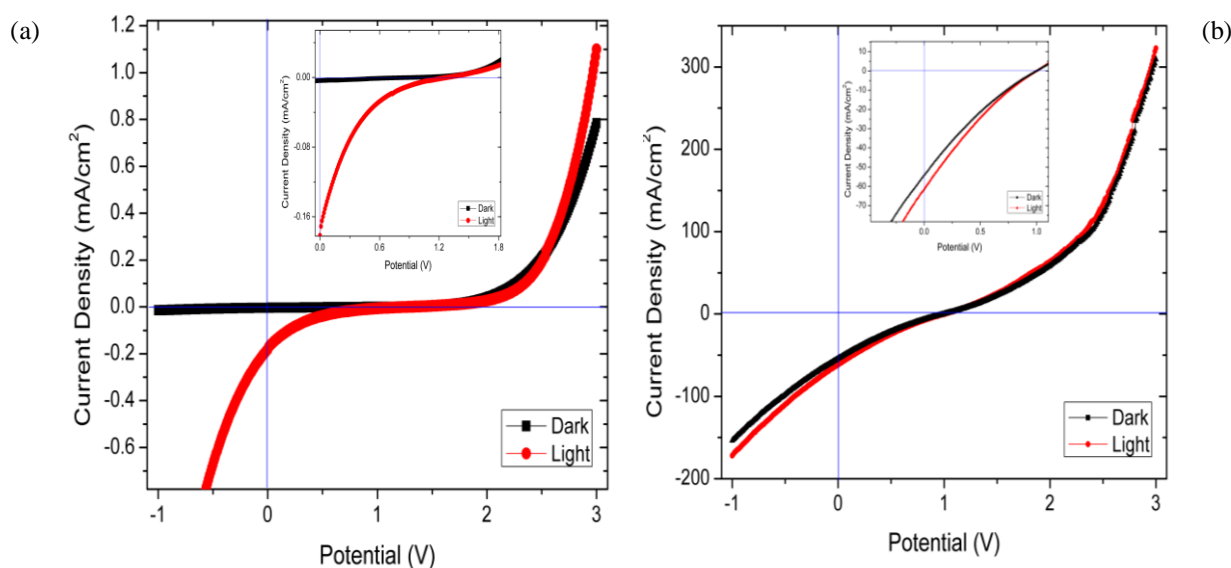


Figure 7. J-V curves of OSC devices fabricated with samples (a) PAF and (b) PAF3.

The values of J_{mpp} , J_{sc} , V_{mpp} , and V_{oc} identified from the graphs in Figure 7 are used to calculate the efficiency (η) and fill factor (FF) of the OSC devices, as presented in Table 4 (Kymakis et al., 2008).

$$FF = \frac{J_{mpp}V_{mpp}}{J_{sc}V_{oc}}, \quad (3)$$

$$\eta = \% \frac{J_{sc}V_{oc}FF}{P_s}, \quad (4)$$

Table 4. The solar cell parameters for the synthesized samples.

Sample	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF (%)
PAF	0.22	1.25	36
PAF3	65	0.92	12

4. Conclusion

This study successfully synthesized and functionalized PAF with varying concentrations of MWCNTs, demonstrating that MWCNT integration enhances the stability and performance of PAF in OSC applications. The improved optical absorption, electrochemical stability, and thermal resilience highlight the potential of these MWCNT-functionalized PAF compounds for use as active layers in organic photovoltaic devices. This research provides a foundation for further exploration into enzyme-catalyzed polymer synthesis as a sustainable method for advanced OSC material development. The enzyme-catalyzed synthesis approach utilized in this study not only facilitated efficient polymerization with minimal by-product formation but also demonstrated the viability of a green chemistry pathway for producing advanced conjugated polymers. Overall, this research lays a strong foundation for future exploration of enzyme-catalyzed polymer synthesis and suggests potential applications in the broader field of optoelectronic devices. Further studies could explore optimization of MWCNT dispersion and concentration, as well as investigate the integration of other nanomaterials to tailor the properties of PAF for specific OSC device architectures.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that there is no conflict of interest.

Contribution Rate Statement Summary of Researchers

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

Balzani V. Electron transfer in chemistry, Wiley-VCH 2001.

- Benigni R. Structure-activity relationship studies of chemical mutagens and carcinogens: mechanistic investigations and prediction approaches. *Chemical Reviews* 2005; 105(5): 1767-1800.
- Bilici A., Kaya I., Yıldıırım M. Biosynthesis and characterization of organosoluble conjugated poly (2-aminofluorene) with the pyrazine bridged. *Biomacromolecules* 2010; 11(10): 2593-2601.
- Cowan DO., Drisko RL. Photochemical reactions. IV. Photodimerization of acenaphthylene. Mechanistic studies. *Journal of the American Chemical Society* 1970; 92(21): 6286-6291.
- Dekker C. Carbon nanotubes as molecular quantum wires. *Physics Today* 1999; 52: 22-30.
- Del G., Belcari AN., Bisogni MG., Losa G., Marcatili S., Ambrosi G., Corsi F., Marzocca C., Dalla Betta G., Piemonte C. Advantages and pitfalls of the silicon photomultiplier (SiPM) as photodetector for the next generation of PET scanners. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 2010; 617(1-3): 223-226.
- Gerard M., Chaubey A., Malhotra BD. Application of conducting polymers to biosensors. *Biosensors and Bioelectronics* 2002; 17(5): 345-359.
- Gregg BA., Hanna MC. Comparing organic to inorganic photovoltaic cells: Theory, experiment, and simulation. *Journal of Applied Physics* 2003; 93(6): 3605-3614.
- Hadziioannou G., Malliaras GG. *Semiconducting polymers: chemistry, physics and engineering*, John Wiley & Sons 2006.
- Inaoka S., Advincula R. Synthesis and Oxidative cross-linking of fluorene-containing polymers to form conjugated network polyfluorenes: Poly (fluorene-9, 9-diyl-*alt*-alkan- α , ω -diyl). *Macromolecules* 2002; 35(7): 2426-2428.
- Jun GH., Jin SH., Park SH., Jeon S., Hong SH. Highly dispersed carbon nanotubes in organic media for polymer: fullerene photovoltaic devices. *Carbon* 2012; 50(1): 40-46.
- Kymakis E., Kornilios N., Koudoumas E. Carbon nanotube doping of P3HT: PCBM photovoltaic devices. *Journal of Physics D: Applied Physics* 2008; 41(16): 165110.
- MacDiarmid AG., Heeger AJ. *Organic metals and semiconductors: The chemistry of polyacetylene, (CH)_x, and its derivatives*. *Synthetic Metals* 1980; 1(2): 101-118.
- Martel R., Derycke V., Lavoie C., Appenzeller J., Chan K., Tersoff J., Avouris P. Ambipolar electrical transport in semiconducting single-wall carbon nanotubes. *Physical Review Letters* 2001; 87(25): 256805.
- Mattox D. *Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing*. Noyes Publications 1998.
- Meissner D., Siebentritt S., Guenster S. Charge carrier photogeneration in organic solar cells. *Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion XI: Photovoltaics, Photochemistry, Photoelectrochemistry*, SPIE 1992.
- Parker ID. Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics* 1994; 75(3): 1656-1666.

- Sariciftci NS., Braun D., Zhang C., Srdanov V., Heeger AJ., Stucky G., Wudl F. Semiconducting polymer-buckminsterfullerene heterojunctions: Diodes, photodiodes, and photovoltaic cells. *Applied Physics Letters* 1993; 62(6): 585-587.
- Schilinsky P., Waldauf C., Brabec CJ. Recombination and loss analysis in polythiophene based bulk heterojunction photodetectors. *Applied Physics Letters* 2002; 81(20): 3885-3887.
- Sonmez G., Sonmez H.B., Shen CK., Jost RW., Rubin Y., Wudl F. A processable green polymeric electrochromic. *Macromolecules* 2005; 38(3): 669-675.
- Spanggaard H., Krebs FC. A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2004; 83(2-3): 125-146.
- Tian S., Liu J., Zhu T., Knoll W. Polyaniline/gold nanoparticle multilayer films: assembly, properties, and biological applications. *Chemistry of Materials* 2004; 16(21): 4103-4108.
- Wei W., Liu Z., Liang C., Han GC., Han J., Zhang S. Synthesis, characterization and corrosion inhibition behavior of 2-aminofluorene bis-Schiff bases in circulating cooling water. *RSC advances* 2020; 10(30): 17816-17828.
- White C., Robertson D., Mintmire J. Helical and rotational symmetries of nanoscale graphitic tubules." *Physical Review B* 1993; 47(9): 5485.
- Winder C., Sariciftci NS. Low bandgap polymers for photon harvesting in bulk heterojunction solar cells. *Journal of Materials Chemistry* 2004; 14(7): 1077-1086.

Evaluation of Forest Industry in Organized Industrial Zones in Türkiye

Kübra YILDIRIM ÖZCAN^{1*}

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mimarlık ve Güzel Sanatlar Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü Bölge Planlama Anabilim Dalı, Ankara

¹<https://orcid.org/0000-0002-8602-6775>

*Sorumlu yazar: kubrayildirimozcan@aybu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 24.11.2024

Accepted: 20.02.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Forest industry

Industrial agglomeration

LQ (Location Quotient) analysis

ABSTRACT

The increasing production volume and commercial activities with the Industrial Revolution brought about the restructuring of economic relations in space and new spatial formations. Throughout history, regional economic activities have been agglomerated in various places and sectors along with agglomeration economies. Among these, organized industrial zones, as large industrial zones, are of great importance in our country's industrial sector. The aim of this study is; to compare the data of completed organized industrial zones in Turkey between 2008 and 2018 and identify the agglomerations in the field of forest industry. In this context, the literature review was conducted regarding the subject of the study, and face-to-face interviews were conducted with the Ministry of Industry and Trade of the Republic of Turkey (repealed) in 2008 and the Ministry of Industry and Technology of the Republic of Turkey in 2018. LQ Analysis was used as a method within the scope of the study and according to the data obtained; It was observed that the agglomerations within the completed organized industrial zones in our country regarding the forest industry were located in Kayseri in 2008 and in Istanbul and Kayseri Provinces in 2018. According to the results of the LQ Analysis; it can be said that there was a sectoral agglomeration in the forest industry in Kayseri between the years 2008 and 2018.

Türkiye'de Organize Sanayi Bölgelerindeki Orman Endüstrisinin Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.11.2024

Kabul tarihi: 20.02.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Orman endüstrisi

Endüstriyel aglomerasyon

LQ (Yoğunlaşma katsayısı) analizi

ÖZ

Sanayi Devrimi ile birlikte artan üretim hacmi ve ticari faaliyetler beraberinde mekândaki ekonomik ilişkilerin yeniden yapılanmasını ve yeni mekansal oluşumları gündeme getirmiştir. Tarih içerisinde, yığılma ekonomileri ile birlikte bölgesel ekonomik faaliyetler çeşitli mekanlarda ve sektörlerde yığılma göstermiştir. Bunlar içerisinde, büyük sanayi bölgeleri olarak organize sanayi bölgeleri, Ülkemizin sanayi sektörü içerisinde oldukça önem arz etmektedir. Çalışmanın amacı; Türkiye'de 2008 ile 2018 yıllarındaki tamamlanmış organize sanayi bölgelerine ait verilerin karşılaştırılması ve orman endüstrisi alanındaki yığılmaların tespit edilmesidir. Bu doğrultuda çalışmanın konusu ile ilişkili olarak literatür taraması ve 2008 yılında T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı (mülga) ve 2018 yılında T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile yüzyüze görüşmeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında yöntem olarak LQ Analizi kullanılmış ve elde edilen verilere göre orman endüstrisinde Ülkemizdeki tamamlanmış organize sanayi bölgeleri içerisindeki yığılmalar 2008 yılında Kayseri'de, 2018 yılında ise İstanbul ve Kayseri İllerinde yer aldığı görülmüştür. LQ Analizi sonuçlarına göre ise; Kayseri'de orman endüstrisi alanında 2008 ve 2018 yılları arasında sektörel bir yoğunlaşmanın olduğu söylenebilir.

1. Introduction

The forest products sector contributes to many sectors such as construction, iron and steel, furniture and transportation. There is a wide range of products in the forest products sector. Although the processing of forest products dates back to ancient times, the processing of logs using mobile force started in the 14th century. In 1575, water whipsaws with saws began to be used in production. Towards the end of the 19th century, rapid developments took place in the forest products industry with the use of steam power and electricity in industry. In our country, in the forest products industry the production made by water and hand whipsaws until the end of the 19th century, and this branch of industry showed a slow development. The production of agricultural tools such as barrels, plows and pitchforks from forest products and small handicrafts date back to the 12th century. The first facilities in our country emerged at the end of the 19th century. The first sawmill was established in Istanbul in 1892, and with the start of the planned period in 1963, the forest products industry began to develop rapidly. In 1944, in order to value the wood that cannot be valued in the market, the General Directorate of Forestry started state management in the forest products industry by purchasing some factories in the private sector. Directorate of Forest Products Industry (ORÜS) was established within the Ministry on 05.01.1970, with the approval of the Ministry of Forestry. With the law numbered 2929 published in the Official Gazette dated 22.10.1983 and numbered 18199, ORÜS General Directorate was given the status of an economic state enterprise with legal personality and autonomy in its activities under the name of Forest Products Industry Institution. The founding purpose of ORÜS is to contribute to the development of the forest industry in our country, to lead the private sector in the implementation of developing technology and product standards, to operate and develop the factories taken over from the General Directorate of Forestry and to establish new facilities when necessary. On 28.02.2000, ORÜS Institution was affiliated with Türkiye Selüloz ve Kağıt İşletmeleri A.Ş. (Seka) with the decision of the Privatization Board of Turkey dated 24.09.1998 and numbered 992. (ORÜS, 1991, TMMOB, 1994, Şahin, 2013, Şahin, 2016, Ağaç İş Sendikası Website, 2021 and Yıldırım and Emiroğlu, 2022).

The industry of forest products, which is very important for economic development as it provides semi-finished products and raw materials to many industries, is divided into three: primary and secondary manufacturing industry and other forest products industry. Wood is used directly as a rawmaterial in the primary manufacturing industry. This manufacturing industry includes sub-sectors such as timber, chip and fibreboard. The secondary manufacturing industry uses primary manufacturing industry products. The products produced in this manufacturing industry are joinery, furniture and wooden parquet, etc. The products produced in the other forest products industry are; shoe molds, musical instruments, wooden toys, wooden lathe products and pencils, etc. (Ekti, 2013, Üçüncü and Bayram, 2016, Bakır, 2019; Kara et al., 2019; Yıldırım and Emiroğlu, 2022).

When we look at the production of forest products in our country and their import and export values, Turkey ranks 13th among 166 countries in timber production and 70% of timber production is used in the construction sector, 10% in packaging and other manufacturing sectors, and 20% in the furniture manufacturing sector (Kara et al., 2019; Memiş, 2021). The sector with 2.4% added value in the manufacturing industry in our country is wood and wood products. Our country imports and exports to more than 200 countries in the wood and wood products manufacturing industry sector (Koç et al., 2017 and Memiş, 2021). Wood and wood-based products are used especially in the construction, building elements, furniture, paper and wood-based board sectors. On average, 7-8 million m³ of industrial wood and 7.5 million m³ of firewood are produced annually from state run forests in our country and 3.3 million m³ of industrial wood and around 1.9 million m³ of firewood are produced from private forests. In addition, 12–13 million m³ of round wood is consumed in Turkey and approximately 75% of this is provided by state forests. Approximately 61% of the wood used in the industry is provided by the General Directorate of Forestry (Orman Genel Müdürlüğü) sales and 27% from private sector sales. The remaining approximately 12% is imported (TOBB, 2012).

The importance of the forestry sector in the economy has been expressed from the First Five-Year Development Plan to the Tenth Five-Year Development Plan. In the Eleventh Development Plan Forestry and Forest Products Working Group Report covering the years 2019-2023, it was stated that forestry has an important economic potential for the wood, furniture and paper sectors as well as plant production, pharmaceutical industry, mining and animal husbandry, and also stated that our country is among the top 10 countries in the world in the production of panel products and has the potential to compete with the world in the furniture sector (T.C.Kalkınma Bakanlığı, 2018).

As can be seen in the UN Comtrade statistics, when we look at our country's forest product imports by product groups; veneer and plywood are in the first place as product groups and their value in 2016 is 352,245,000 USD. This is followed by firewood and charcoal with 274,245,000 USD, timber with 236,491,000 USD, particleboard and fiberboard with 200,547,000 USD, other processed products - wood construction products with 137,204,000 USD and industrial wood with 64,322,000 USD. The top five countries that stood out in our country's forestry product imports in 2016 were Ukraine with 220,949,000 USD, the Russian Federation with 220,514,000 USD, the USA with 135,066,000 USD, Romania with 95,965,000 USD and Bulgaria with 82,231,000 USD, respectively. When we look at the amounts of our country's forest product exports according to product groups in 2016, particleboard and fiberboard are in the first place with 379,727,000 USD, other processed products - wood construction products with 241,961,000 USD, veneer and plywood with 39,456,000 USD, timber with 10,461,000 USD, industrial wood with 2,798,000 USD and firewood and charcoal with 1,472,000 USD. Again, the top five countries that stand out in our country's forest product exports in 2016 are; The Islamic Republic of Iran with 170,277,000 USD, Iraq with 64,478,000 USD, Turkmenistan with 44,134,000 USD, Georgia with 32,030,000 USD and Azerbaijan with 19,419,000 USD (T.C.Kalkınma Bakanlığı, 2018). When the forest products industry sector's general export total values are ranked from largest to smallest

on a provincial level in our country, the top five provinces are Istanbul, Bursa, Izmir, Kayseri and Ankara (Memiş, 2021).

In addition to all this information, Ondaral et al. (2023) conducted a SWOT analysis for the forest products sector in their study. In the analysis, the strengths of the sector were stated as; widespread and organized forestry activities throughout the country, geographical location and proximity of facilities to ports, dynamic structure of the sector and low labor costs, and the weaknesses of the sector were stated as; lack of qualified personnel at intermediate and lower levels, variability of the superstructure in forestry management, lack of standards and inspection in raw materials and products, and lack of institutionalization and branding. Within the scope of the analysis, threats were stated as; internal turmoil and war threats in peripheral markets, gray zones of public law, sensitivity of economic stability and climate problems, while opportunities were stated as; restructuring of peripheral countries, encouragement of use of forest products worldwide and continuing increase in domestic demand (Ondaral et al., 2023).

2. Agglomeration Economies and New Economic Geography Models

In the literature; it was first demonstrated by Alfred Marshall (1920) that the spatial location of firms close to each other and related institutions and organizations creates significant benefits. From this point of view, the factors that are effective in aggregating economic activities are generally referred to as Marshallian Externalities. These factors are basically; highly specialized labor, mass production (internal economies), the existence of transportation facilities and modern infrastructure and specialized input services (Fujita, 1989; Kıymalıoğlu and Ayoğlu, 2006).

In the agglomeration economies defined by Marshall, economic activities are located in the same geography and this provides advantages to companies in supplying goods, reaching skilled labor, and disseminating technological knowledge. When choosing a location, companies may choose to be located close to raw materials and sectoral agglomerations in order to gain specialization and competitiveness. Taking all this into consideration, companies generally want to locate in organized industrial zones in our country. For industrial production, different factors such as proximity to other facilities, availability of resources and investment costs come to the fore when choosing a facility location (Marshall, 1920; Athawale and Chakraborty, 2010; Üçüncü and Bayram, 2016).

With Marshallian Externalities and agglomeration economies, the major changes experienced in the world economic geography since the 1980s, theories and new approaches such as the new economic geography model have been developed. In the early 1990s, the New Economic Geography Model was put forward by Krugman in the field of regional growth and development, and emphasized the role of agglomeration economies, externalities and transportation costs (Krugman, 1991; Fujita et al., 1999; Fujita and Krugman, 2004; Yavan, 2013). The main purpose of New Economic Geography Models is to explain the formation of economic agglomerations at different scales in geographical space (Fujita and Krugman, 2004; Kum, 2011).

The new economic geography model explains the geographical formation of economic development with centripetal and centrifugal forces. Centripetal forces are the forces that lead to industrial agglomeration among countries and regions; centrifugal forces are the forces that lead to industrial dispersion. While centripetal forces increase the geographical agglomeration of economic activities, centrifugal forces reduce this agglomeration. The basis of this new approach is that due to external economies and agglomeration economies, economic activities are geographically agglomerated in certain regions, especially in metropolises and large cities, and these economies support the growth of urban areas and lead to the emergence of local and regional inequalities within this framework (Yavan, 2013). According to Krugman (1999), the centripetal forces affecting geographical agglomeration are the market scale effect (forward and backward linkages), the intensive labor market, and pure external economies; while the centrifugal forces are immobile production factors, land rents, and pure negative external economies (Kum, 2011).

Centripetal forces are the sources of external economies mentioned by Marshall. A local market can create backward and forward connections. Here, backward connections consist of the location preferences that provide easier access to larger markets in terms of goods production due to economies of scale. Forward connections consist of a market reducing costs for local producers and increasing local production of semi-finished products. Industrial agglomeration also intensifies the labor market based on expertise. Therefore, employers can easily provide their workers and workers can work with the employer they want. Agglomeration of economic activities on a local scale can also create external economies through information transfers. Centrifugal forces consist of negative external economies such as congestion in markets and production due to the agglomeration of economic activities in certain regions (Kum, 2011; Krugman, 1999).

When the characteristics of the New Economic Geography approach are examined, it is seen that diversity, increasing returns to scale (internal economies of scale), imperfectly competitive markets, intra-industry trade (intermediate input mobility), factor mobility and transportation costs are the main factors (Fujita and Krugman, 2004; Tunalı Çalışkan and Kaya, 2018). Among these factors; within the diversity factor, the constant elasticity of substitution function can be considered; within the increasing returns to scale factor, internal scale economies; within the imperfectly competitive markets factor, the Dixit-stiglitz model; within the transportation costs factor, iceberg transportation costs (a certain percentage of the transferred goods); within the intra-industry trade factor, forward-backward linkages; within the factor mobility factor, firm location (they can establish facilities in every profitable location, access to suppliers and the market) and labor mobility (they act according to wage differences) can be considered (Head and Mayer, 2003; Tunalı Çalışkan and Kaya, 2018).

3. The Forest Industry And Organized Industrial Zones In Turkey

In our country, industrial companies are agglomerated especially in organized industrial zones where they have an advantage in ensuring competitiveness. According to the Organized Industrial Zones Law

No. 4562, the Organized Industrial Zone (OIZ) is defined as: To ensure the structuring of the industry in appropriate areas, to prevent distorted industrialization and environmental problems, to direct urbanization, to use resources rationally, to benefit from information and information Technologies and to place and develop industrial types within a certain plan, OIZs are the goods and service production zones targeting efficiency in resource use, and established, planned and operated in accordance with the provisions of this Law, with the necessary common use areas, service and support areas and technology development zones within the proportions in the zoning plans, in a planned manner and within certain systems land parcels with approved boundaries to allocate for the industry.

Today, in addition to organized industrial zones specialized in different areas such as specialized OIZ in leather products, there are also mixed organized industrial zones where companies are operating in different economic fields. One of these economic fields is the forest industry. The only OIZ specialized and in operation in forest products is İnegöl Mobilya Woodworks Specialized OIZ (İnegöl Mobilya Ağaç İşleri İhtisas OSB, which is located in Bursa (OSBÜK Web Sitesi, 12.12.2024).

According to the data received from the T.R.Ministry of Industry and Trade (repealed) in 2008, there were 559 forest industry companies among the total number of 9.399 industrial companies located in the completed organized industrial zones in our country in 2008.

Their distribution is given in Table 2. Based on this, the highest number of forest industry companies is located in Kayseri among the organized industrial zones that were completed in 2008. Also in the same year, there were 1.938 companies in the under-construction organized industrial zones and 63 of them were operating in the forest industry sector.

The forest industry is a sub-branch of the manufacturing industry. As it is known, the raw materials of the forest industry are the products obtained as a result of forestry activities. The forest lands located in the provinces of our country bring the forest products industry to the fore in terms of economic development both regionally and locally.

As seen in Table 1, when we look at the forest assets of the provinces; The province with the most forest area is Antalya; This is followed by Kastamonu and Mersin provinces. However, it is seen that the provinces where forest industry activities are agglomerated are mostly Istanbul and Kayseri. Therefore, it can be stated that proximity to places where the industry branch is agglomerated rather than proximity to raw materials may be more attractive for companies.

4. Materials and Methods

One of the methods used in the literature to measure the spatial agglomeration of economic activities is LQ Analysis (Location Quotient). LQ (Location Quotient) Analysis is a measure that gives the proportional value of the density of the industry in a region to the density in another region or country selected as a reference. The coefficient obtained as a result of the analysis measures the agglomeration or specialization of a certain industrial sector in a region comparatively. In the formula, economic activities in an area are compared with economic activities in a larger area (Karaalp, 2008).

$$LQ = (K_i : K_n) / (S_i : S_n)$$

$$LQ = \frac{\text{Employment in The Local Sector}}{\text{Local Total Employment}} \div \frac{\text{Employment in The Sector in The Region}}{\text{Total Employment in The Region}}$$

Explanation:

K_i = Employment in The Local Sector

K_n = Local Total Employment

S_i = Employment in The Sector in The Region

S_n = Total Employment in The Region

LQ Analysis can be performed with different data such as employment, export, import, production and value-added data. In the interpretation of the coefficient obtained as a result of LQ Analysis, different threshold values are used in the literature. According to the most general and widely used threshold value of 1, three different interpretations can be made:

1. If $LQ < 1$, the employment rate of the sector in the region is less than the employment rate in the reference region. Therefore, there is no specialization and/or agglomeration in the sector in the region.
2. If $LQ = 1$, the employment rate of the sector in the region is equal to the employment rate in the reference region. Therefore, it can be said that the formation of specialization and/or agglomeration in the sector in the region has just begun.
3. If $LQ > 1$, the employment rate of the sector in the region is greater than the employment rate in the reference region. Therefore, there is specialization and/or agglomeration in the sector in the region; it can be advanced (Karaalp, 2008).

After reviewing the literature, within the scope of the study, the features of organized industrial zones in Turkey between 2008 and 2018 years were compared and LQ Analysis was made with regional employment numbers to try to determine the agglomerations related to the forest industry.

In this study, data about the companies operating in the forest products industry in the organized industrial zones in our country in the years 2008 and 2018 were obtained from the T.R.Ministry of Industry and Trade (repealed). In 2018, employment data by provinces in the forest products industry and Employment Statistics data were obtained from the SGK Website. With these data obtained, LQ Analysis was performed within the scope of the study.

There are comments in the literature regarding the Location Quotient, the coefficient (LQ) threshold value limit of 1 being considered insufficient. For this reason, in many studies, it is stated that the Location Quotient (LQ), the coefficient, being greater than 1.25 indicates that the relevant industry branch is agglomerated in the region. (Yardımcı, 2014; Türkcan and Çelik, 2020; Alkan and Obut Bilim, 2021). Therefore, by referring to the studies and comments in the literature, the threshold value limit of the coefficient (LQ) in this study is considered as 1.25.

5. Findings and Discussion

Between 2008 and 2018 years the features of organized industrial zones in Turkey were compared and LQ Analysis was made with regional employment numbers within the scope of the study, to try to determine the agglomerations related to the forest industry. LQ Analysis was made to determine whether there is any specialization and/or an agglomeration in the sector in the region.

As seen in Table 1, the provinces with the largest forest areas in 2018 are Antalya, Kastamonu and Mersin, and the provinces with the least amount of forest area are Iğdır, Ağrı and Nevşehir, respectively. In addition to this information, as seen in Table 2, the number of companies operating in the forest industry among the completed OIZs in Turkey increased from 559 in 2008 to 1575 in 2018. According to the data obtained, as seen in Figures 1 and 2, the completed organized industrial zones with the highest number of companies operating in the forest industry in 2008 are located in Kayseri Province which is followed by Bursa and in 2018, the largest number of companies operating in the forest industry in completed organized industrial zones was again in Kayseri, followed by Ankara and Bursa. Also, as seen in Figure 3, the ratio of employment in the field of the forest industry to all current employment in the companies in completed organized industrial zones in Türkiye, Kırıkkale, Kastamonu and Kayseri have the highest ratios (%) in 2018, respectively. In line with this information, it can be said that there was an agglomeration in the field of forest industry in the completed organized industrial zones in Kayseri and Bursa provinces between 2008 and 2018.

In the TR72 Region 2014-2023 Current Situation Analysis prepared by the Middle Anatolia Development Agency, it is stated that the total forest area in Kayseri is 107.937 hectares. 22.982 hectares of this area is normal forest area; and the area of 84.955 hectares constitutes degraded forest area. In the same Analysis, it was stated that Kayseri's exports, especially in the furniture manufacturing sector, constitute 17,61% of the total country's exports (Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, 01.01.2025). Additionally; according to The Prominent Sectors Report in the TR72 Region (2021), also prepared by the Middle Anatolia Development Agency, the 8 sectors with the highest average market agglomeration in the region are; iron and non-ferrous metals, furniture, paper and forest products, electrical and electronics, textile and raw materials, steel, chemicals and products, mining products and air conditioning industry (Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, 2021).

Table 1. Forest Areas in Provinces in Türkiye in 2018

Provinces	Area (Hectare)	Provinces	Area (Hectare)
İstanbul	240.688	Yozgat	272.772
Tekirdağ	101.174	Zonguldak	194.074
Edirne	103.014	Karabük	278.830
Kırklareli	254.463	Bartın	135.437
Balıkesir	632.038	Kastamonu	873.651
Çanakkale	480.465	Çankırı	192.120
İzmir	475.779	Sinop	367.096
Aydın	326.605	Samsun	388.821
Denizli	588.672	Tokat	478.379
Muğla	829.309	Çorum	441.394
Manisa	542.480	Amasya	220.681
Afyonkarahisar	278.836	Trabzon	181.842
Kütahya	646.552	Ordu	202.896
Uşak	223.496	Giresun	258.140
Bursa	485.636	Rize	178.949
Eskişehir	410.057	Artvin	403.695
Bilecik	240.252	Gümüşhane	239.577
Kocaeli	143.227	Erzurum	256.882
Sakarya	208.226	Erzincan	212.223
Düzce	124.216	Bayburt	29.793
Bolu	531.802	Ağrı	5.905
Yalova	47.570	Kars	34.441
Ankara	452.058	Iğdır	161
Konya	492.857	Ardahan	30.757
Karaman	243.351	Malatya	189.340
Antalya	1.146.062	Elazığ	169.892
Isparta	386048	Bingöl	264.934
Burdur	331.711	Tunceli	245.536
Adana	593.660	Van	45.141
Mersin	835.534	Muş	78.426
Hatay	208.067	Bitlis	180.237
Kahramanmaraş	521.413	Hakkari	179.847
Osmaniye	158.679	Gaziantep	112.617
Kırıkkale	70.286	Adıyaman	158.581
Aksaray	23.469	Kilis	27.032
Niğde	56.238	Şanlıurfa	14.850
Nevşehir	11.195	Diyarbakır	325.359

Kırşehir	43.668	Mardin	154.804
Kayseri	132.582	Batman	88.896
Sivas	387.281	Şırnak	266.947
Siirt	232.264	Türkiye	22.621.935

Source: Republic Of Türkiye, Ministry Of Agriculture and Forestry General Directorate of Forestry, 2018.

Table 2. Number Of Companies Operating In The Forest Industry Field In The Completed Organized Industrial Zones In Turkey Between 2008 and 2018

Provinces Where Organized Industrial Zones Are Located	Number Of Companies Operating In The Field Of Forest Industry 2008	Number Of Companies Operating In The Field Of Forest Industry 2018	Ratio Of Parcels In Which Production Is Made Within The Number Of Allocated Parcels
Adana	15	34	0,79
Adıyaman	1	18	0,73
Afyonkarahisar	13	16	0,89
Aksaray	**	23	0,67
Amasya	7	13	0,75
Ankara	14	148	0,90
Antalya	8	30	0,77
Aydın	**	10	0,19
Balıkesir	6	16	0,10
Bartın	4	4	1,00
Batman	2	1	0,85
Bilecik	1	6	0,83
Bingöl	**	2	0,81
Bolu	19	27	0,71
Burdur	6	5	0,75
Bursa	38	140	0,88
Çanakkale	4	14	0,70
Çankırı	4	7	0,84
Çorum	7	9	0,61
Denizli	**	4	0,87
Diyarbakır	6	20	0,76
Düzce	2	10	0,86
Edirne	**	1	0,58
Elazığ	13	14	0,67
Erzincan	6	8	0,64
Erzurum	5	7	0,89

Eskişehir	27	38	0,81
Gaziantep	4	3	0,81
Giresun	**	3	0,38
Gümüşhane	**	3	0,73
Hatay	1	6	0,80
Iğdır	**	1	0,23
Isparta	14	13	0,91
İstanbul	5	50	0,99
İzmir	6	33	0,63
Kahramanmaraş	**	4	0,97
Karabük	1	1	0,57
Karaman	1	9	0,64
Kars	7	7	0,59
Kastamonu	1	22	0,54
Kayseri	176	398	0,82
Kırıkkale	4	14	0,71
Kırklareli	**	6	0,74
Kırşehir	8	6	0,59
Kocaeli	*	21	0,82
Konya	14	65	0,86
Kütahya	2	11	0,71
Malatya	3	31	0,87
Manisa	5	14	0,67
Mardin	2	6	0,67
Mersin	6	25	0,86
Muş	**	1	0,58
Nevşehir	**	3	0,56
Niğde	10	15	0,82
Ordu	10	17	0,98
Osmaniye	2	6	0,78
Sakarya	1	10	0,62
Samsun	6	9	0,87
Sinop	**	1	0,71
Sivas	28	23	0,77
Şanlıurfa	**	8	0,73
Şırnak	**	2	0,24
Tekirdağ	3	40	0,79
Tokat	13	17	0,74
Trabzon	11	24	0,63

Tunceli	**	1	0,75
Uşak	**	5	0,95
Van	1	3	0,93
Zongudak	6	13	0,74
Total	559	1.575	0,77

** Data could not be accessed.

Source: T.R. Ministry of Industry and Trade (Repealed), 2008 and 2018.

The table was prepared by the author with data received from T.R. Ministry of Industry and Trade (Repealed).

Table 3. LQ Analysis Results by Provinces

Provinces Where Organized Industrial Zones Are Located	Employment In Companies In The Field Of Forest Industry In Completed Organized Industrial Zones In Turkiye	The Ratio Of Employment In The Field Of Forest Industry To All Current Employment In The Companies In Completed Organized Industrial Zones In Turkiye (%)	LQ (Location Quotient)
Adana	1.978	0,06	1,699
Adıyaman	638	0,10	3,353
Afyonkarahisar	314	0,04	1,664
Aksaray	540	0,05	1,823
Amasya	448	0,09	2,436
Ankara	4.931	0,03	0,844
Antalya	2.318	0,19	3,697
Aydın	250	0,03	1,643
Balıkesir	1.030	0,13	3,429
Bartın	293	0,08	2,388
Batman	28	0,01	0,949
Bilecik	313	0,06	1,091
Bingöl	40	0,08	4,154
Bolu	518	0,10	2,193
Burdur	85	0,03	0,563
Bursa	9.870	0,06	0,971
Çanakkale	264	0,13	3,503
Çankırı	237	0,06	0,702
Çorum	255	0,05	1,254
Denizli	431	0,02	1,014
Diyarbakır	686	0,10	7,081
Düzce	933	0,12	2,698
Edirne	10	0,01	0,473

Elazığ	322	0,11	6,024
Erzincan	256	0,21	16,291
Erzurum	172	0,04	3,207
Eskişehir	1.871	0,05	0,800
Gaziantep	265	0,31	10,783
Giresun	93	0,05	1,780
Gümüşhane	30	0,06	2,023
Hatay	66	0,04	1,635
Iğdır	80	0,31	92,308
Isparta	389	0,13	2,656
İstanbul	2.043	0,03	0,909
İzmir	3.683	0,08	2,041
Kahramanmaraş	45	0,01	0,226
Karabük	17	0,01	0,389
Karaman	398	0,03	1,621
Kars	70	0,12	35,000
Kastamonu	1.018	0,42	4,907
Kayseri	28.886	0,41	3,416
Kırıkkale	1.079	0,49	19,725
Kırklareli	723	0,06	2,056
Kırşehir	180	0,19	7,676
Kocaeli	2.409	0,04	0,913
Konya	3.873	0,08	3,862
Kütahya	337	0,03	1,493
Malatya	739	0,04	2,000
Manisa	1.007	0,02	0,748
Mardin	76	0,02	2,420
Mersin	551	0,03	0,985
Muş	10	0,06	19,617
Nevşehir	37	0,02	0,866
Niğde	209	0,04	1,739
Ordu	632	0,08	2,811
Osmaniye	262	0,02	0,951
Sakarya	1.660	0,08	1,711
Samsun	188	0,03	0,693
Sinop	5	0,00	0,028
Sivas	859	0,12	0,962
Şanlıurfa	347	0,02	1,278
Şırnak	38	0,20	23,231

Tekirdağ	4.069	0,03	1,125
Tokat	242	0,05	1,234
Trabzon	889	0,17	5,732
Tunceli	10	0,02	1,280
Uşak	240	0,02	0,818
Van	25	0,01	2,236
Zongudak	418	0,16	4,881
Total	87.228		

Source: T.R. Ministry of Industry and Trade (Repealed), 2008 and T.R. Ministry of Industry and Technology 2018.

The table was prepared by the author with the data received from T.R. Ministry of Industry and Trade (Repealed) in 2008 and T.R. Ministry of Industry and Technology 2018, SGK Website, Employment Statistics, <https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/>, 11.10.2018 and TÜİK Web Sitesi, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>, 08.09.2023.

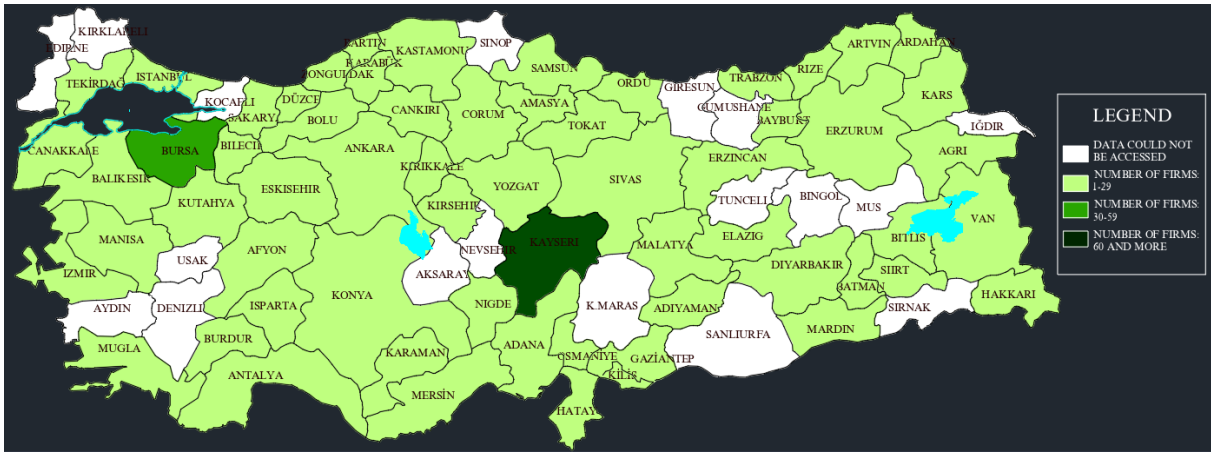


Figure 1. Number of Companies Operating in The Forest Industry Field in The Completed Organized Industrial Zones in Turkey in 2008.

Source: T.R. Ministry of Industry and Trade (Repealed), 2008.

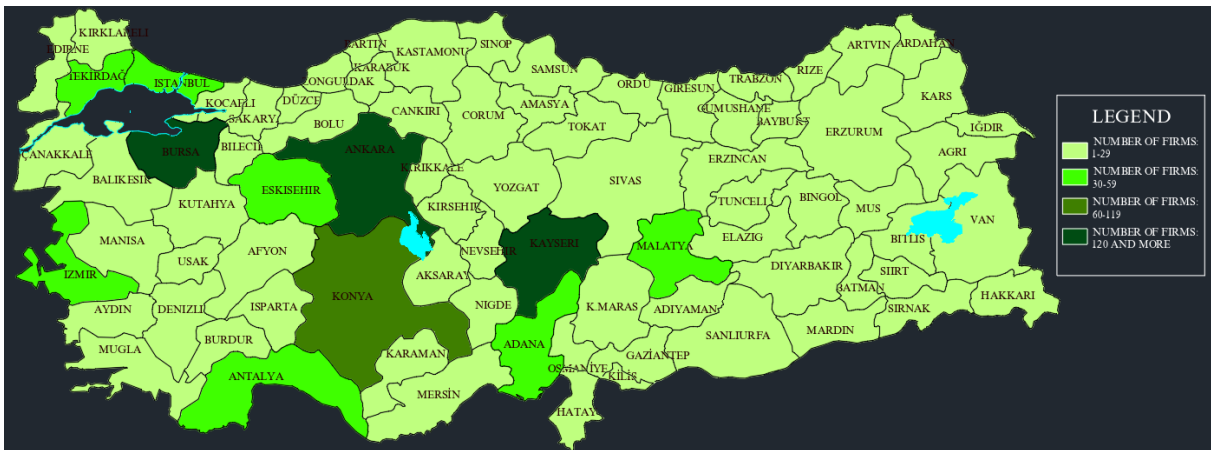


Figure 2. Number of Companies Operating in The Forest Industry Field in The Completed Organized Industrial Zones in Turkey in 2018.

Source: T.R. Ministry of Industry and Technology, 2018.

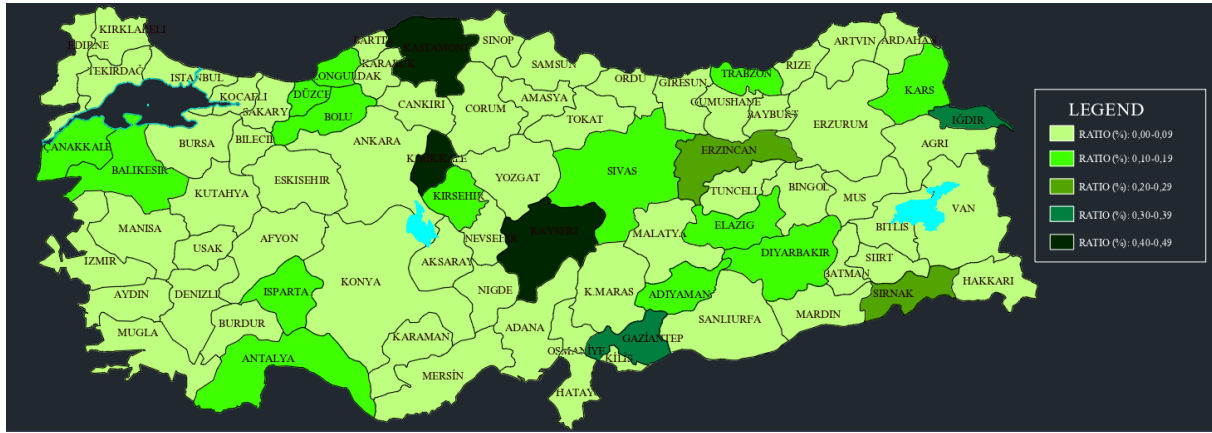


Figure 3. The Ratio of Employment in The Field of Forest Industry To All Current Employment in The Companies in Completed Organized Industrial Zones in Turkiye (%)

Source: T.R. Ministry of Industry and Technology, 2018.

When we look at the number of employment in companies operating in the field of forest industry in 2018, Kayseri Province comes to the fore firstly with the highest number of employment and has a share of approximately 33% in proportion to employment in Turkey, in this field. Also, as seen in Table 3, according to the LQ Analysis results, it can be said that there is a significant agglomeration in the completed OIZs in Kayseri in the forest industry field related to employment numbers, LQ Analysis results, and the company numbers in this field. In addition to this information, the other two provinces with the highest employment in companies operating in the field of forest industry are respectively; Bursa and Ankara.

The reason for the high LQ values in provinces like Iğdır is that, as can be seen from the number of parcels allocated, not all parcels in the completed organized industrial zones have been filled and production has not started in these parcels, and therefore, full capacity employment is not available in the organized industrial zones in these provinces, and the ratio of employment in the forest and forest products industry to total employment on a provincial and regional level is very low. In addition to these, the majority of companies operating in the forest products sector are located in especially the organized industrial zones in the province.

It can also be said that, when looking at Table 1, Table 2 and Table 3, the specializations in the sector and the spatial agglomerations in the region do not depend only on the forest presence in the region. Specializations and spatial agglomerations in the sector and region may also occur depending on the other factors such as sectoral developments and logistics opportunities that have developed over the years.

When we look at the number of companies and employment in the forest products industry within organized industrial zones; it is seen that the highest number of companies operating in the forest industry is in the organized industrial zones in Kayseri, among the completed organized industrial zones in 2008 in our country, In 2018, among the completed organized industrial zones in our country, it is

seen that the highest number of companies operating in the forest industry is in Istanbul and followed by Kayseri. And according to the results of LQ Analysis in this study, it can be said that there is an agglomeration in the forest industry in Kayseri and İstanbul among the completed organized industrial zones in our country in 2018.

In the forest products industry in Kayseri, the furniture sector comes to the forefront. The reason for this is that the big furniture brands known in our country make their production in Kayseri. In addition, there are thousands of furniture production and sub-industry manufacturers of different scales in the province. According to the data prepared by the Kayseri Chamber of Industry and Commerce, as of the end of 2007, the furniture sector is the second sector with the highest exports with 259.553.058 FOB dollars; bedroom, sitting group, bathroom furniture, dining room, youth and children's rooms, office furniture, kitchen cabinets, armchairs, sofas, bases, tables, chairs, armchairs, beds, cabinets and furniture accessory materials constitute the furniture product groups exported from Kayseri (Karaduman, 2009). When we look at the export shares in the furniture manufacturing industry, İnegöl ranks third after Kayseri and Istanbul. (Çolak and Ulucan, 2012; Memiş, 2021).

As a result, in line with the LQ Analysis and the data obtained, in Kayseri, the spatial agglomeration in the forest products industry, especially in the furniture sector, can be considered as agglomeration economies and increasing returns to scale, transportation costs, factor mobility (Firm Location and Labor Mobility), which are among the basic factors of the New Economic Geography approach, as effective factors. In addition, it can be said that Kayseri's geographical location, transportation connections and benefiting from public incentives and supports during the industrialization process have also been effective in the development of the industrial sector and the agglomeration of firms here. In the context of the literature, it is seen that the advantages of agglomeration economies and Marshall externalities and the factors of the new economic geography model with centripetal forces still exist in Kayseri, therefore with the results of the LQ Analysis, an OIZ specialized in the forest products industry can be established in the coming years.

6. Conclusion

Looking at the data obtained from TradeMap, our country's export values are quite high in the wood, paper and furniture sectors, where the most activity is carried out among forest products; most exports are made in the furniture sector (Trade Map Website, 2023). Therefore, considering the promotion of the use of forest products worldwide and the continuing increase in domestic demand, for a balanced economic development, it is important to establish facility areas that will provide training and inspection for the sector, to eliminate the lack of qualified personnel at intermediate and lower levels, lack of institutionalization and branding, and lack of standards and inspection in products in the sector and to support and encourage widespread and organized forestry activities throughout the country in other regions and provinces with potential, considering the dynamic structure of the sector.

Finally, When we look at the organized industrial zones completed in our country in 2018, the number of companies operating in the forest products industry sector and the number of employment in these zones and according to the results of the LQ Analysis in this study, it can be said that, especially in Kayseri, there is a spatial agglomeration in the forest products industry sector.

However, the locations of the agglomerations, the number of companies and employment within the completed organized industrial zones may change in the coming years as the incomplete and still in project organized industrial zones are completed and put into operation. In this context, it is expected that the study will contribute to the literature.

References

- 4562 Sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/>, Resmi Gazete (Erişim 15.04.2000).
- Ağaç İş sendikası web sitesi. <https://www.agac-is.org/> (Erişim 10.07.2021).
- Alkan A., Obut Bilim Z. Lokasyon katsayısı yaklaşımı ile Türkiye Çimento Sanayiinde bölgesel yoğunlaşma. Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2021; 10(1): 101-113.
- Athawale VM., Chakraborty S. Facility location selection using promethee II method. Proceedings of The 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dhaka, Bangladesh 2010.
- Bakır O. Orman ürünleri sanayi sektöründe verimlilik ve etkinliğin belirlenmesi. Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi 2019, Trabzon.
- Çolak M., Ulucan A. Mobilya endüstrisinde kârlılığı etkileyen faktörlerin UTADIS yaklaşımı ile belirlenmesi. Sosyoekonomi 2012; 17(17).
- Ekti E. Endüstriyel orman ürünleri, sektörel raporlar serisi IV. T.C. Doğu Marmara Kalkınma Ajansı Düzce Yatırım Destek Ofisi 2013.
- Fujita M. Urban economic theory: Land use and city size. Cambridge University Press 1989.
- Fujita M., Krugman P., Venables AJ. The spatial economy: Cities, Regions and International Trade, The MIT Press 1999, Cambridge, MA.
- Fujita M., Krugman P. The new economic geography: Past, Present and The Future, Papers in Regional Science 2004; 83, 139-164.
- Head K., Mayer T. The empirics of agglomeration and trade. CEPII Working Paper Series, No: 2003-15 October, 2003.
- Kara O., Şahin Ö., Bekar İ., Kayacan B. Endüstriyel ağaç ve ahşap ürünleri sektörünün uluslararası rekabet gücü analizi: Türkiye örneği. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi 2019; 15(1): 15-32.
- Karaalp HS. Türkiye’de sektörel yığılmalar ve bölgeler arası yakınsamaya etkisi. T.C. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Ana Bilim Dalı 2008, Aydın.

- Karaduman AA. Kayseri ilinde mobilya sanayisinde faaliyet gösteren işletmelerin sosyo-ekonomik açıdan incelenmesi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 2009, Bartın.
- Kıymalıoğlu Ü., Ayoğlu D. Türk imalat sanayinde yığılma ekonomileri. Doğu Üniversitesi Dergisi 2006; 7(2): 198-209.
- Koç H., Aksu B. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri:A 2000, 2001; 50(2): 115.
- Krugman P. Geography and trade. MIT Press 1991, Cambridge.
- Krugman P. Increasing returns and economic geography. Journal of Political Economy 1991; 99(31): 483-499.
- Krugman P. Development, geography and economic theory. MIT Press, Cambridge, 1997.
- Krugman P. The role of geography in development. International Regional Science Review 1999; 22(2): 142-161.
- Krugman P. The role of geography in development. International Regional Science Review 1999; 22 (2): 143.
- Kum M. İktisadın yeni coğrafi açılımı: Yeni ekonomik coğrafya yaklaşımı. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2011; 30(1): 235-255.
- Küçüker C., Kentsel büyüme dinamikleri, C.K. ed.. Anadolu'da hızla sanayileşen kentler: Denizli örneği, Türk Ekonomi Kurumu, 40-82.ss, 1998.
- Marshall A. Principles of economics. London: Macmillan nd Co. 1920.
- Masahisa F., Krugman P. The new economic geography: Past, Present and the Future. Papers in Regional Science 2004; 83, 140.
- Memiş D. Türkiye orman ürünleri sanayinin alt sektörler ve iller bakımından etkilerinin belirlenmesi. Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi 2021.
- Ondaral S., Köse C. Canbolat D., Orman ürünleri sanayisi: Cumhuriyetin yüzüncü yılında bir değerlendirme. Cumhuriyetin 100. Yılında Türkiye Ormancılığı ve Geleceği. Editörler: Alan, M., Çalışkan, A., Ertuğrul H., Günşen H.B., Özalp M., Özçankaya N., Öztürk C., Temel F. Türkiye Ormancılar Derneği Yayını, 375-407 s. 2023, Ankara.
- ORÜS. Orman Ürünleri Sanayi Kurumu Genel Müdürlüğü 1980-1990 Faaliyetleri. Orman Ürünleri Sanayi Genel Müdürlüğü, ORÜS, Ankara 1991; 133.
- OSBÜK Web Sitesi, <https://osbuk.org/view/osb/osbliste.php>, Erişim 12.12.2024.
- Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, TR72 Bölgesi 2014-2023 mevcut durum analizi. <https://www.oran.org.tr/images/dosyalar/222.pdf>, Erişim 01.01.2025.
- Şahin D. Türkiye'de ormana dayalı sektörlerin dış ticaret yapısının analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2016; 5(3): 181-196.
- Şahin P. Orman ürünleri sanayi sektörünün veri zarflama analizi yardımıyla etkinlik ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2013, Trabzon.

- T.C.Kalkınma Bakanlığı, Onbirinci Kalkınma Planı (2019-2023), Ormanlık ve Orman Ürünleri Çalışma Grubu Raporu 2018, Ankara.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Orta Anadolu Kalkınma Ajansı. TR72 Bölgesi'nde Öne Çıkan Sektörler Raporu, 2021.
- Tekin D. TR31-İzmir Bölgesi sektörel yoğunlaşma analizi. Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2021; 14: 98-106.
- TMMOB. ORÜS ve özelleştirme. Sektörel Rapor Dizisi:5, ISBN 975-395-135-3, Baskı:MF Ltd.Şti. Ankara, 1994.
- TOBB. Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu 2011. Yayın Sıra No: 2012/172, Ankara, ISBN : 978-605-137-188-7, 2012.
- Trade Map Website,
https://www.trademap.org/Bilateral_TS.aspx?nvpm=1%7c792%7c%7c%7c14719%7c44%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1 (Erişim 03.10.2023).
- Tunalı Çalışkan E., Kaya AA. Yeni ekonomik coğrafya ekosistemi ve akış diyagramlar. Finans Politik & Ekonomik Yorumlar 2018; 644: 77-100.
- TÜİK Web Sitesi, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> (Erişim 08.09.2023).
- TÜİK Web Sitesi, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Isgucu-Istatistikleri-2018-30677#:~:text=%C4%B0%C5%9Fg%C3%BCc%C3%BC%202018%20y%C4%B1%C4%B1n%20da%20bir%20%C3%B6nceki,%34%2C2%20olarak%20ger%C3%A7ekle%C5%9Fti> (Erişim 08.09.2023).
- Türkcan B., Çelik, N. Türkiye'de bölgesel iktisat. ORION 2020, Ankara.
- Üçüncü T., Bayram BÇ. Kastamonu orman ürünleri endüstrisinde kuruluş yeri seçimini etkileyen faktörlerin AHP methodu ile incelenmesi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 2016; 16(2): 599-606.
- Yardımcı A. Kapasite raporlarına göre Ankara sanayisinin kümelenme eğilimleri. Ekonomik Yaklaşım 2014; 25(92): 5567.
- Yavan N., Küresel kriz sonrası bölgesel kalkınma politikalarında yeni yaklaşımlar: Dünya Bankası, Avrupa Birliği ve OECD'nin Yaklaşımları, Coğrafya: Yeni Yüzyılda Fırsatlar ve Tehditler, Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi Bildiriler Kitabı, 19-21 Haziran 2013, s.520-534, Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- Yıldırım İ., Emiroğlu E. Türkiye ve dünyada orman ürünleri sanayi sektörüne ait bazı ürünlerin karşılaştırmalı analizleri. Ormanlık Araştırma Dergisi 2022; 9(Özel Sayı/Special Issue): 155-164.

Üniversite Kampüs Yapılarının Erişilebilirliği: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Üzerinden Bir Değerlendirme*

Seval YILMAZ^{1**}, İpek FİTOZ²

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 51000, Niğde

²Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 34000, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0001-8327-4768>

²<https://orcid.org/0000-0001-5104-196X>

**Sorumlu yazar: sevalberk@ohu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.11.2024

Kabul tarihi: 19.02.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Engelli

Engellilik

Erişilebilirlik

Erişilebilir üniversiteler

Engelsiz binalar

ÖZ

Genel nüfusa oranla özel ihtiyaçları olan yaşlı ve engelli bireylerin oranındaki artışın da gösterdiği gibi, toplumun her üyesi yaşamlarının bir noktasında özel gereksinimlere ihtiyaç duyabilir. Bu durum, fiziksel çevrenin tüm bireylerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde oluşturulması gereksinimini vurgulamaktadır. Uygun bir fiziksel ortamın yaratılması ve inşa edilen ortamların, özel gereksinimleri ve sınırları olanlar için daha fazla değişiklik veya iyileştirmeye gerek kalmadan tüm bireyler tarafından özerk ve rahat bir şekilde kullanılması, erişilebilirliğin sağlanması için gereklidir. Her bireyin erişebilmesi gereken temel insan haklarından biri de eğitimidir. Erişilebilirlik, sosyal, entelektüel ve kişisel gelişim üzerinde önemli bir olumlu etkiye sahip olan üniversite kampüs ortamını ve yapılarını da kapsamalıdır. Kampüsler, küçük bir şehrin sosyo-kültürel ortamına ve kullanıcı çeşitliliğine sahip olmaları nedeniyle iyileştirilmesi gereken temel alanlardır. Bu çalışma, fiziksel kısıtlılığı olan kişilerin üniversite kampüslerinde karşılaştıkları zorlukları ele almıştır. Örneklem olarak seçilen Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Kampüsünde bir idari bina, bir eğitim binası ve bir kongre ve kültür merkezinin erişilebilirliği, ADA standartları ve ülkemizde kullanılan Türk standartları (TS) kullanılarak değerlendirme formları hazırlanmıştır. Örneklem grubu olarak belirlenen 3 yapı bu yöntemle değerlendirilerek mevcut sorunları tespit edilerek yapılardaki problemlerin giderilebilmesi için öneriler getirilmiştir.

Accessibility of University Campus Buildings an Evaluation on Nigde Ömer Halisdemir University

Research Article

Article History:

Received: 07.11.2024

Accepted: 19.02.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Disabled

Disability

Accessibility

Accessible universities

Barrier-free buildings

ABSTRACT

As the increase in the proportion of elderly and disabled people with special needs compared to the general population shows, every member of society may require special needs at some point in their lives. This emphasizes the need for the physical environment to be built to meet the needs of all individuals. The creation of a suitable physical environment and the autonomous and comfortable use of the built environments by all individuals, without the need for further modifications or improvements for those with special needs and limitations, is essential to ensure accessibility. Education is one of the fundamental human rights that every individual should have access

*Bu çalışma İpek Fitoz tarafından yürütülen Seval Yılmaz'ın "Erişilebilir üniversite kampüs alanları ve binalarının tasarım parametreleri "Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi örneği" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

to. Accessibility should also extend to the university campus environment and structures, which have a significant positive impact on social, intellectual and personal development. Campuses are the main areas that need to be improved as they have the socio-cultural environment and user diversity of a small city. The difficulties that people with physical disabilities encounter on college campuses were the subject of this study. Using ADA standards and Turkish standards (TS) that are employed in our nation, assessment forms were created for the accessibility of an administration building, an education building, and a congress and culture center at the Niğde Ömer Halisdemir University Central Campus, which was chosen as a model. Using this procedure, the three buildings chosen as a sample group were assessed, present issues were noted, and recommendations were made to fix the issues.

To Cite: Yılmaz S., Fitoz İ. Accessibility of University Campus Buildings an Evaluation on Niğde Ömer Halisdemir University.Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 887-905.

1. Introduction

According to the estimated data published by the World Health Organization, approximately 16% of the world population lives with a temporary or permanent disability (WHO, 2024). In our country, according to the report published by the Ministry of Family and Social Services in April 2023, the ratio of individuals with at least one disability to the total population was determined as 6.9%. With these increasing rates in the world and in our country, it is mentioned that there is a large population that is disabled and inaccessible (EYHGM Disability and Elderly Statistics Bulletin, 2023).

The main purpose of concepts such as equal access, universal design, design for all is to provide equal opportunities for all. All products and spaces can be seen as part of a chain and a chain is only as strong as its weakest link (Aslaksen, 1995). The concepts of design for all and accessibility have attracted more attention in recent years and efforts are being made to ensure that every individual has equal opportunities to participate in society. The position of each individual in society is significantly affected by accessibility. With the 20th century, the popularity of the concepts of inclusive design, universal design and design for all has increased and continues to increase with initiatives in different disciplines. In this context, it is seen that there has been an increase in accessibility solutions with the studies carried out/implemented. This has led to the rapid development of regulations and improvements to ensure that all user groups can use public institutions, private buildings, educational institutions, sports and entertainment facilities, social and cultural spaces and complex structures such as shopping centers equally and easily.

The ability to move freely between spaces is recognized as a fundamental human right. Every person, regardless of age, physical condition, different abilities and limitations, should have access to all the spaces and places they may need in their daily lives. It is recognized that differences in human abilities such as cognition, vision, hearing and speech, body, hand and arm functions can affect the usability of products, services and spaces. However, the built environment and accompanying services are designed for standard users. For this reason, structured spaces and places may not meet the needs and desires of all user groups. Spaces that all members of society have the right to use, including people with disabilities, the elderly, children, people of large or small size, people carrying loads, etc., should be accessible (Demir-Mishchenko et al., 2010).

Architectural barriers in the built environment are related to the inaccessibility of the environment. Architectural barriers refer to the physical characteristics of the building and its surroundings that restrict movements that pose a danger in the built environment with their presence, absence and design. The concept of universal design and accessibility aims to remove barriers in the built environment and ensure equal access and use of public spaces by all individuals (Evcil, 2009). Education is the most important factor in improving the quality of life of individuals with permanent or temporary disabilities and their integration into society. In pre-university educational institutions, students with disabilities have the right to receive accommodations in their educational environment to meet their needs or to receive special education tailored to their needs. However, in universities, students with disabilities are integrated into the general student population. Although many facilities are provided to students with disabilities, students with disabilities face problems related to accessibility (Lombardi and Murray, 2011).

In recent years, there have been many regulations and policies regarding barrier-free campuses and accessibility in higher education institutions. More modern, functional and egalitarian public spaces can be created by making the physical environment accessible and accessible to everyone at the campus and building scale (Ökten, 2018).

In this study, the physical barriers faced by people with temporary or permanent physical limitations while studying or working at universities were tried to be identified through research and observations. In this context, forms created through fieldwork were used to determine the accessibility of three selected sample buildings. The study emphasized that by raising awareness about people with disabilities and their impact on campus life and reducing barriers in the built environment through appropriate design, equal access can be achieved for all people.

Academic studies and workshops supporting the consideration of universal design and accessibility concepts (Ünver and Yamaçlı, 2014; Dikel, 2019; Gökdal and Ünal, 2020) are regularly conducted in Turkey (National Barrier-Free Universities Workshop Reports). There are studies on barrier-free university campuses in the literature (Çınar, 2010; Demiroğlu, Çoban and Özgür, 2016; Dişyapar and Güngör, 2015; Hilmioğlu and Seçer Kariptaş, 2021). However, the creation of the parameters used in the determination of the current situation in the method of the study, the analysis and unification of the standards, the evaluation of the accessibility of the buildings on the campus of Niğde Ömer Halisdemir University, the sample considered in the field study, and the suggestions for design improvements in this context reveal the originality of the research.

2. Theoretical Framework

Considering the possibility of being temporarily or permanently disabled at some point in our lives, there is a large population of people with disabilities and people who are hindered by the built environment. Wheelchair users, passengers carrying suitcases, parents pushing strollers may face

various obstacles in the built environment. As all these limitations are directly linked to the built environment rather than a specific medical condition, it is important to take this into account when designing these places and spaces. Although definitions of disability and disability laws vary between countries, it is emphasized that people with all kinds of limitations have different needs from other members of society and that these needs should be met without creating social exclusion.

It is crucial to comprehend the ideas of impediment, disability, and accessibility in order to guarantee accessibility in the built environment and to ensure that the designs are developed without any issues. According to the Turkish Language Association, disability is the state of being disabled, and a person is considered disabled if they have lost their physical, mental, spiritual, and social abilities from birth or later and struggle to adapt in social situations and day-to-day life (TDK, 2024). In the United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities, disability is defined as people with long-term physical, mental, perceptual impairment that prevents them from participating in society under equal conditions with other individuals (United Nations General Assembly, 1993). In the Law No. 5378 published in our country, disability is defined as individuals who are affected by attitudes and environmental conditions that limit the full and effective participation of individuals with physical, mental, sensory limitations on equal terms with other individuals who make up the society (Law No. 5378 on Persons with Disabilities, 2005).

The concepts of disability and disability have been defined in different ways in many different institutions, laws and studies from past to present in the world and in our country. With the Americans with Disabilities Act (1990), which is accepted as the turning point of the disability movement, regulations were introduced to facilitate access to private and public buildings and transportation vehicles for individuals with physical limitations. This law is the most widely accepted and comprehensive regulation in the international arena.

Table 1. Distribution by disability groups registered in the data system in Turkey (Disability and Elderly Statistics Bulletin, April, 2023)

Disability Group	Number of People	The Rate (%)
Visually impaired	215.076	9.53
Hearing impaired	179.867	7.97
Speech impaired	33.686	1.49
Orthopedic disabled	311.131	13.78
Mentally disabled	385.313	17.07
Mentally and emotionally disabled	170.927	7.57
Chronic disease	917.259	40.63
Others	44.248	1.96

In the past, people with disabilities have been excluded or kept away from society. With the increase in disability awareness, the visibility of disabled people in society has also increased. The concept of disability is defined as the state of being disabled in the Turkish Language Association (TDK, 2024). Disability is a disease or a condition of being restricted that makes it difficult or hinders the actions of other individuals in the society. In the study conducted by (Koca and Yılmaz, 2017), disability conditions were classified as physical disability, visual limitation and mental disability. The Swiss Center for Customized Buildings for People with Disabilities explains disabilities as physical, mental, visual and auditory disabilities (Fink, 2000). Since different disabilities require different needs, all kinds of products, services and spaces should be designed to be accessible. Open spaces, transportation vehicles, public spaces should be designed/regulated to be accessible and accessible to all user groups with different constraints.

In recent years, higher education institutions have been organized and improved in line with the principles of lifelong learning, knowledge acquisition and innovation. Spatial transformation is an important factor in improving accessibility and teaching in higher education institutions. In this context, design improvements are made from building scale to campus-wide. Today, although comprehensive studies and arrangements are being made to ensure that individuals with disabilities can benefit from their right to education in the best way possible, fully accessible environments and spaces have still not been achieved.

3. Material and Method

Within the scope of the study, architectural barriers in university campuses and buildings, inaccessible or inappropriate campus buildings, circulation areas, accommodation areas, social areas, barriers in educational spaces constitute the subject of the research. Within the scope of the field study, Niğde Ömer Halisdemir University central campus was determined as a sample. In 1992, it started education under the name of Niğde University and has been continuing higher education as Niğde Ömer Halisdemir University since September 7, 2016. The central campus includes the Faculty of Education, Faculty of Science and Literature, Faculty of Engineering, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Faculty of Architecture, Faculty of Communication, Faculty of Islamic Sciences, Faculty of Medicine, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Faculty of Dentistry, Faculty of Fine Arts, Central Library, Congress Center, a kindergarten, Ayhan Şahenk Student Dormitory and dormitories affiliated to the Ministry of Youth and Sports (URL-1).



Figure 1. Nigde OHU central campus site plan (URL-2)

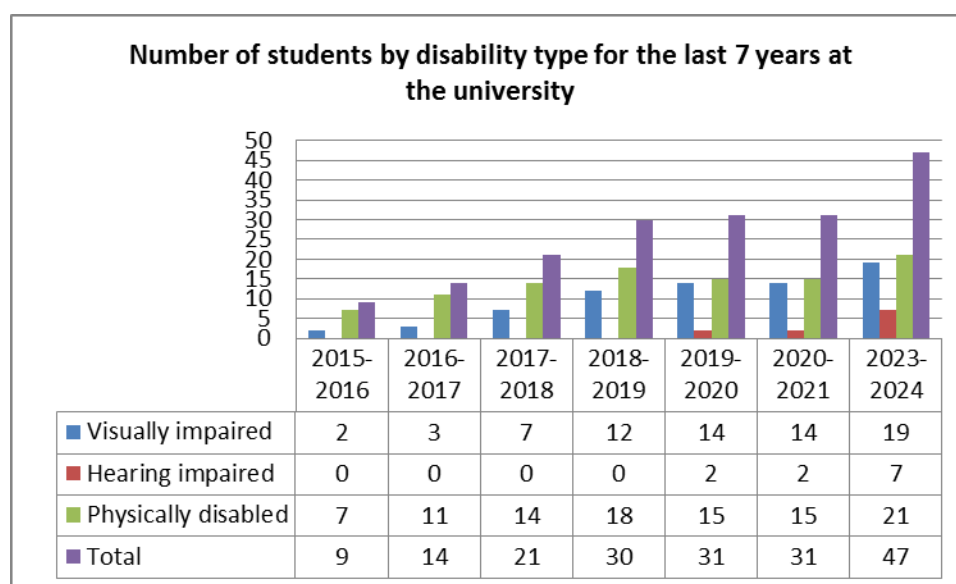
Within the scope of the research, the obstacles that wheelchair users, those who have difficulty in walking and climbing stairs, hearing and visual impairment, and individuals with any temporary or permanent limitation have been taken into consideration. In the study, the issues that should be considered in the design of barrier-free university campuses and spaces were included in order for the determined disability group to experience independent and easy education and training in university campuses and buildings. As a result of the research and evaluations, accessibility criteria were determined in university campuses. The sample of the study consists of Niğde Ömer Halisdemir University campuses and buildings. While creating the methodology of the study, TS (Turkish Standards) standards accepted in Turkey, accessibility guide including TS standards prepared by experts working in the field, and ADA (American Disability Act Standards for Accessible Design) standards adopted in the world were taken into consideration and accessibility forms were prepared.

In order to ensure the integrity and comprehensibility of the study, while creating the forms, restrictions were imposed on the types of spaces that could be examined within the research parameters. A total of 135 questions were prepared for 7 sections covering topics such as parking lots, accessible roads, sidewalks and ramps; transportation between floors, toilets; lecture halls and classrooms. After the preparation of the forms, the study area was evaluated to include the academic building (Faculty of Architecture), the administrative building (Rectorate Building) and the socio-cultural area (Cultural Center), which hosts many cultural events. In addition to the fact that these buildings are used almost every day by the staff and students working on the campus, the variables in user intensity have been the determining factor in the evaluation of these buildings in the field study.

According to the activity report published by the university in 2020, the number of disabled students enrolled at the university between 2015-2021 and the disability conditions included in the study are shown in Table 2. With the increase in disability and accessibility awareness, the number of disabled students enrolled at the University has increased. While the number of students with visual, hearing

and physical disabilities was 9 between 2015-2016, this number increased to 31 between 2019-2020. The total number of disabled students enrolled in the 2023-2024 academic year is 47.

Table 2. Number of students according to the types of disabilities at Niğde Ömer Halisdemir University (Edited according to the data taken from Niğde OHU Annual Report 2020).



4. Findings and Discussion

Education is one of the most fundamental human rights that every individual in society should have access to. Ensuring accessibility in all educational institutions, from kindergartens to high schools, from high schools to universities, should be organized in line with the needs of all user groups. Individuals with disabilities working or studying at universities face physical and spatial limitations and are hindered by course/classroom materials and wrong attitudinal behaviors. Various environmental and cultural barriers are encountered in higher education campus and building designs. Inclusive design approach aims to ensure that the arrangements created/designed in the built environment are used by all user groups without the need for too much customization and modification.

Within the scope of the research, the accessibility of the Faculty of Architecture, Rectorate Building and Cultural Center buildings were evaluated. The fact that these three buildings have different functions and different user diversity was effective in the selection of these three buildings as a sample. While creating the methodology of the study, legislation and regulations on accessibility in Turkey and abroad were examined, and a comprehensive literature study on design for all and accessibility was conducted.

Whether disabled or not, everyone has the right to a life worthy of human dignity as well as the right to a minimum level of education and training. The right to education, which is the cornerstone of the social state approach, aims to guarantee equal access to education for everyone in society (Şişman,

2014). Since education is one of the main purposes of universities, it is very important to provide a barrier-free campus environment and infrastructure to provide equal opportunities for all students, including students with disabilities. The following broad issues were found during the study's observations and on-site inspections at the Niğde OHU Campus.

- Accessible routes
- Inadequate parking lots
- Transportation to the desired buildings (building entrances and exits)
- Freedom of movement within the building - access to different levels
- Use all equipment in buildings
- Accessible toilets
- Access to classrooms, workshops, laboratories
- Guidance and information in buildings
- Safe evacuation in emergency situations.

The evaluation forms prepared in the light of these items and with the help of existing standards were divided into seven separate sections and data were obtained, and the accessibility compliance rates of the buildings selected as a sample with different functions and user groups were determined.

4.1 Faculty of Architecture

Niğde OHU Faculty of Architecture, which started undergraduate education in 2013-2014 academic year, includes the Department of Architecture, Department of Interior Architecture, Department of Urban Regional Planning and Department of Landscape Architecture. The faculty consists of two separate buildings. The smaller building houses the administrative department (Dean's Office), while the other building contains classrooms and academician rooms. In the study, the immediate surroundings of both buildings and the accessibility of the main building, which has a high user density, were evaluated. The basement, which is located on the lower floor of the building, was not included in the evaluation because it only contains warehouses. The building has a card access entrance used by academics and a general main entrance. In the main building, there are two lecture halls, two workshops, four classrooms, a canteen and servant rooms on the ground floor; three workshops, a computer laboratory and six classrooms on the first floor, and the workplaces of the teaching staff on the second floor. Within the scope of the study, the roads extending from the parking lot and public transportation vehicles to the building entrances as well as the areas and spaces inside the building were evaluated.

Table 3. Faculty of Architecture accessibility compliance rates

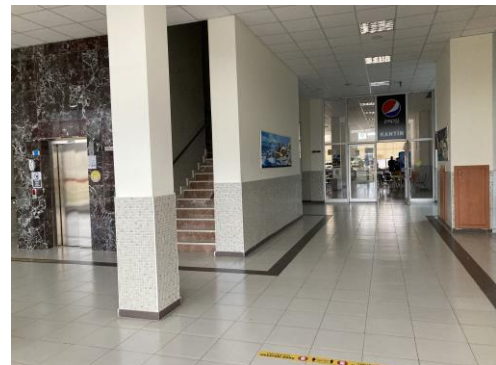
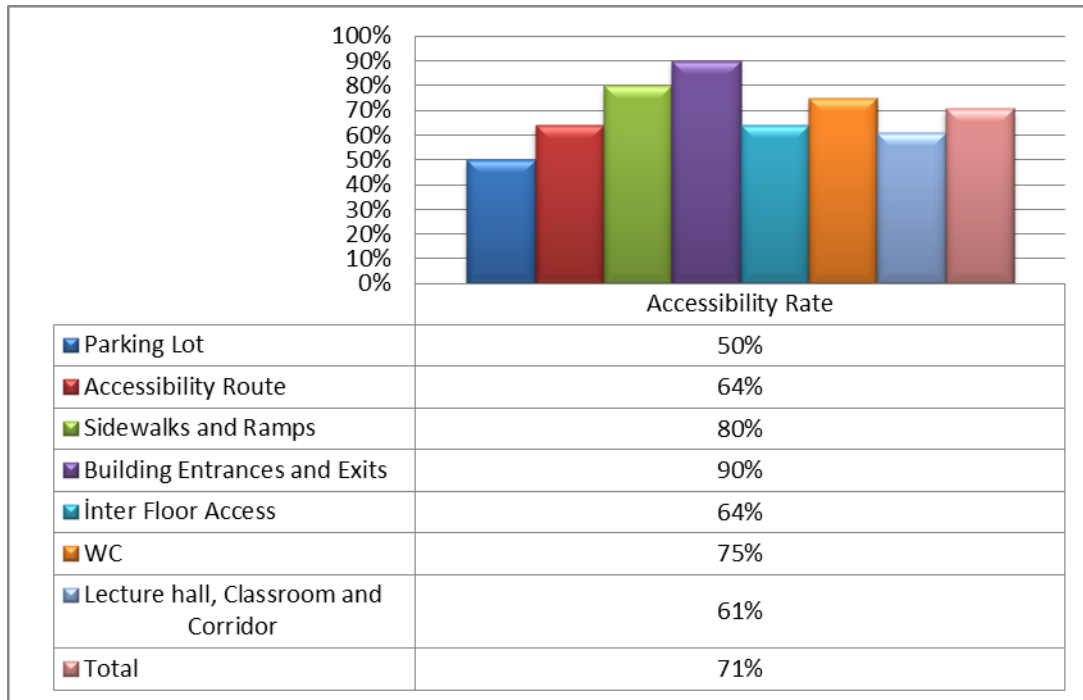


Figure 2-3-4. Faculty of Architecture accessibility arrangements; entrance, interior and WC visuals (Seval Yılmaz, 2022)

The Faculty of Architecture is among the campus's best-maintained faculty buildings, if a comparison of all the buildings is conducted. The fact that the compliance rates of the sections other than the

parking lot are above 50% shows that the building and its surroundings can be easily used by all user groups. In addition, the faculty building is used as a disabled exam center.

4.2 Niğde OHU Congress and Culture Center

The facility, which opened in 2014, consists of nine halls spread across 7993 square meters. The building on campus is also utilized by the Niğde community. The building, which has a variety and density of users, has hosted many cultural activities, meetings, seminars, panels and symposiums since the day it was put into use.

Table 4. Congress and Culture Center accessibility compliance rates

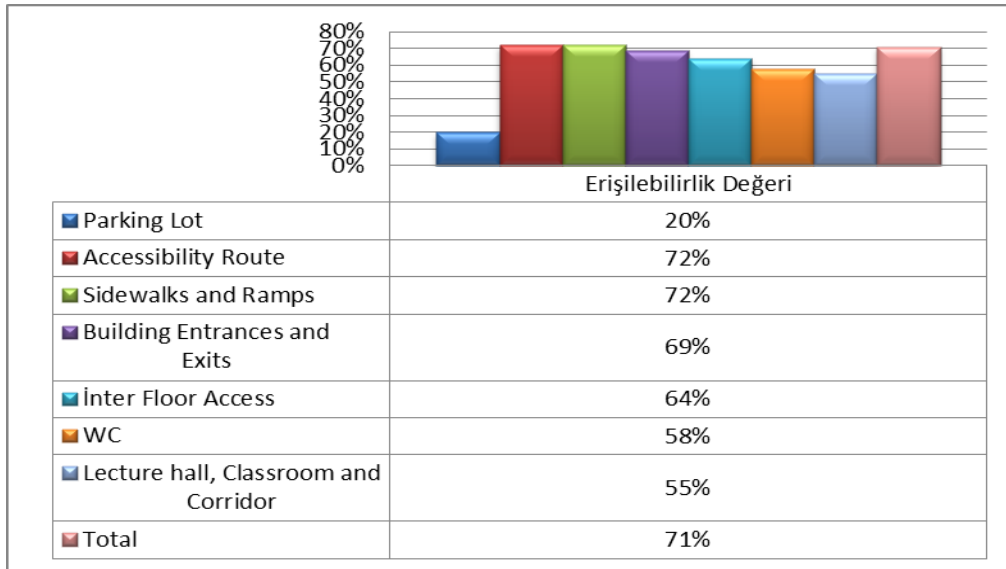


Figure 5-6-7. Congre and Culture Center accessibility arrangements; entrance, interior and WC visuals (Seval Yılmaz, 2022)

The building, which is located on the left side of the main campus entrance and has hosted many social and cultural events, was included in the sample group due to its user density and diversity. According to the evaluation results, the compliance rate of the Congress and Culture Center is 71%. The compliance rate of the parking lots located right behind the building entrance is 20%. According to a general assessment of the accessible routes and portions, the building's accessibility is in acceptable shape, with the exception of the parking lots' accessibility and its distance from public transportation. The stairs at the entrance of the building have been solved, but since the elevator has been solved inside the entrance, its visibility has been prevented. Another problem identified is that only one solution has been produced as a disabled toilet. Flexibility and accessible solutions have been considered in the designs of the halls on the first floor. Accessible spaces and areas can be provided for everyone with the improvement works to be carried out in the problematic areas and spaces identified as a result of the current situation analysis.

4.3 Nigde OHU Rectorate Building

The Rectorate building has been in service since 1993 and stands out at the entrance of the campus with its unique architectural design. The building consists of two separate structures connected by a bridge. The three-story large building was assessed as part of the study because of the variety and intensity of its users. On the ground floor of the three-storey building, there are medico-social units and ÖSYM office. The building has two entrances. However, the entrance in the center of the building has the highest user density. On the first floor of the building are the Student Affairs and Health, Culture and Sports Departments, on the second floor are the Administrative Financial Affairs and Revolving Fund Treasury. On the upper floor are the Departments of Construction Works and Information Technologies. The fact that it serves as an administrative building and that the ÖSYM office, which increases and diversifies the user density, is located in this building was effective in the selection of the sample group for the study.

Table 5. Rectorate Building accessibility compliance rates

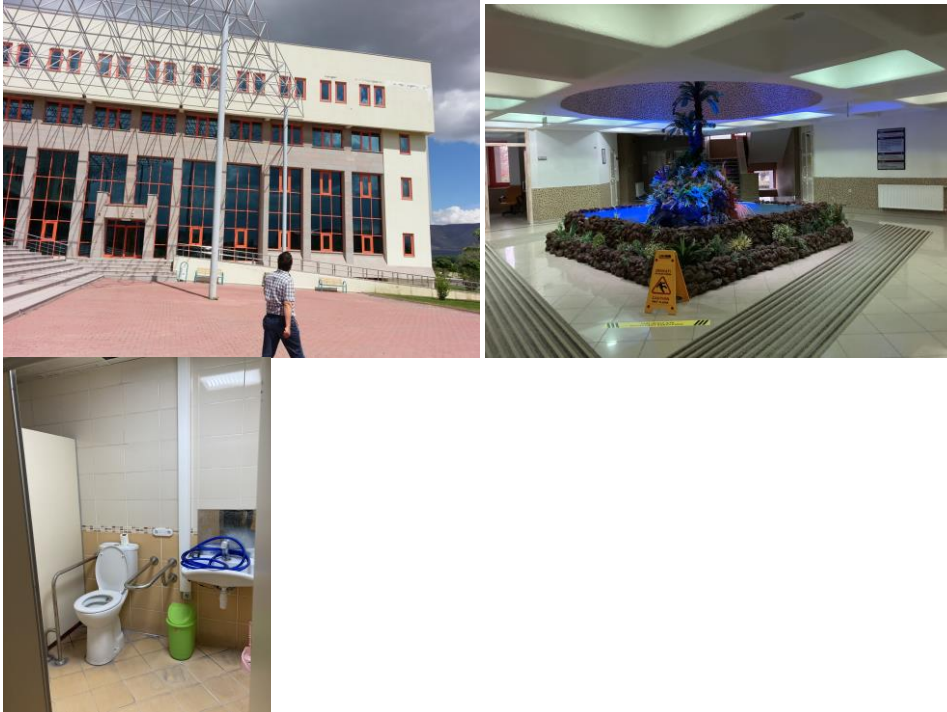
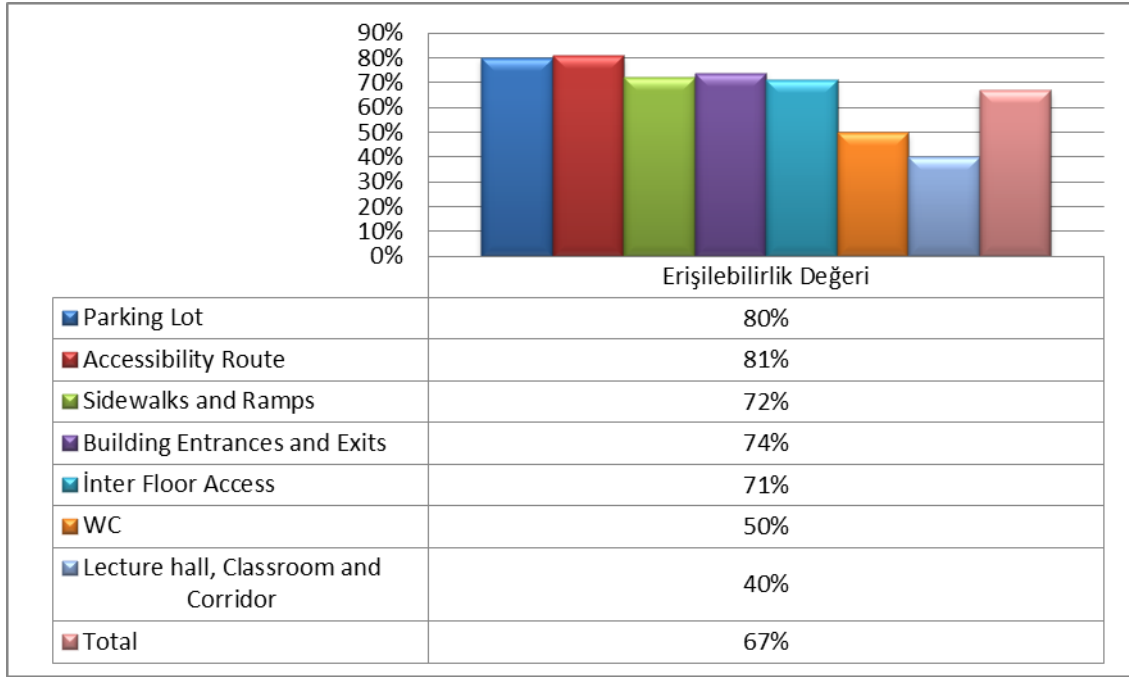


Figure 8-9-10. Rectorate Building accessibility arrangements; entrance, interior and WC visuals (Seval Yılmaz, 2022)

Although the building with different function groups was built before the accessibility legislation and regulations were published, the compliance rate was determined as 67%. The parking lots of the Rectorate building have the highest compliance rate due to both the number of disabled parking lots and their location close to the entrance. Sanctions are imposed in cases of unnecessary occupation of the disabled parking lot and obstruction of transportation and access. The administrative building has

the lowest compliance rate for restrooms among the buildings evaluated. While the evaluation forms related to lecture halls, classrooms and corridors were used, only questions about corridor-related regulations were included in the study since there were no lecture halls and classrooms in the building. According to the form evaluation, the compliance rate of corridors is 40%. The aquarium at the entrance of the building and the lack of sufficient space for circulation, deficiencies in lighting and orientation make it difficult to access the space.

Table 6. Comparative analysis of the sample group

	Units	Faculty of Architecture	Congress and Culture Center	Rectorate Building
Accessibility Route- Parking Lot	sidewalk dimensions	✓	✓	✓
	sidewalk ramps	✓	✓	✓
	parking lot dimensions	✓	✓	✓
	parking lot numbers	×	×	×
	access corridor	✓	×	✓
	guidance and warning signs	×	×	×
Building Entrances and exits	accessible entrance and exits	✓	✓	✓
	accessible doors	✓	✓	✓
	availability of ramp	✓	✓	✓
	ramp width	✓	✓	✓
	ramp slope	✓	✓	✓
	Use of suitable materials on ramps and stairs	✓	✓	✓
	sensible surfaces	×	×	×
	guidance and warning systems	×	×	×
	accessible emergency escapes	×	×	×
Inter Floor Access, Stairs- Lifts	availability of stairs	✓	✓	✓
	step width	✓	✓	✓
	Riser height	✓	✓	✓
	non-slip tapes	✓	✓	✓
	grab bars	×	×	×
	height of grab bar	×	×	×
	sensible surfaces	×	×	×

	sensible surfaces	x	x	x
	availability of elevator	✓	✓	✓
	elevator cabin dimensions	✓	✓	✓
	door type and width	✓	✓	✓
	height of grab bar	✓	✓	x
	audio stimulators	x	x	x
	Button heights	✓	✓	x
	Braille alphabet on buttons	✓	✓	✓
	Elevator Interior Lighting	✓	✓	✓
	Elevator floor material	✓	✓	✓

** (✓: Compatible , X: Incompatible)

Table 6. Comparative analysis of the sample group

	Units	Faculty of Architecture	Congress and Culture Center	Rectorate Building
Accessible Toilets	availability of accessible toilets	✓	✓	✓
	Toilet cabin dimensions	✓	✓	✓
	Door widths	✓	✓	x
	Door opening directions	x	✓	✓
	Maneuvering space	✓	✓	✓
	Grab bar availability	✓	✓	✓
	Grab bar heights	x	x	x
	reinforcement sizes	✓	x	x
	toilet floor material	x	x	x
	Tactile signs identifying toilets	x	x	x
Corridors	Corridor widths	✓	✓	✓
	Floor materials	x	x	x
	Door opening directions	✓	✓	x
	sensible surfaces	x	x	x
	guidance and warning systems	✓	✓	✓

Lecture Halls And Classrooms	Door width	✓	✓	
	Door opening direction	✓	✓	
	Fixed reinforcement dimensions used	✓	✓	
	Availability of space for wheelchair users	✗	✗	
	Flexible layout planning	✗	✗	
	Required lighting	✓	✓	
	Accessible stairs	✗	✓	
	Accessible ramps	✗	✗	
	Corridor width	✓	✓	
	Colour contrast in furniture	✗	✗	
	Tactile surfaces for the visually impaired	✗	✗	

** (✓: Compatible, ✗: Incompatible)

** Since there is no lecture hall or classroom in the Rectorate building, it was not taken into consideration.

5. Conclusion and Recommendations

Over the years, societies have been adopting a more inclusive perspective in which everyone is included, seen as equal and on equal footing, rather than the differences in beliefs, gender, age, various physiological systems, level of education, etc. that have existed over time. Accessibility for all is now recognized as a basic need and efforts are being made globally to adapt to it. Barrier-free design is becoming indispensable in every space and area.

As a result of research, observations and interviews, the problems encountered with the campus environment and structures ;

- Accessibility to all buildings on campus
- Accessibility of building entrances and comfortable and independent movement within the building
- All user groups can access between floors
- All users can easily use the building equipment within the building
- Providing barrier-free access to lecture halls, classrooms, workshops and laboratories
- Presence of information, guidance, warning signs and signs
- The ability of any test equipment to serve a different user group

- Stairs and elevators providing access between floors can serve every user group with different abilities and constraints
- Ensuring the safe evacuation of all individuals from buildings in the event of an emergency is essential for accessibility solutions and approaches in the campus environment and structures.

We can list the design and improvement suggestions for eliminating the deficiencies and problems identified in the buildings in the sample group as follows.

Faculty of Architecture

- Disabled parking spaces should be identified and unnecessary occupation should be prevented.
- Accessible routes from parking lots to the building should be expanded by adding tactile surfaces that facilitate access for the visually impaired. The materials to be used should be durable, non-slip and suitable for climatic conditions.
- Main entrances-exits and emergency escape routes should be designed so that users can exit safely in an emergency.
- Arrangements and improvements should be made in the building in accordance with the guidelines for the visually and hearing impaired.
- Orientation, information and warning signs should be arranged in sizes and heights in accordance with the standards.
- Interior and exterior toilet doors on all floors should be arranged to open outwards.
- Since adding ramps to the existing lecture halls in the faculty will cause problems, maneuvering areas should be left in the lecture hall entrance areas for wheelchair users to move easily. Since the fixed equipment in the classrooms are also not suitable for wheelchair users, areas should be created for comfortable use.
- Color contrasts should be created in the furniture in lecture halls, classrooms and corridors so that visually impaired individuals can identify the equipment.
- The accessibility of hearing and visually impaired people in the space should be increased with audio, tactile and stimulating arrangements to be added to the corridors.
- The steps should have handrails installed on one side, with the handrails beginning 30 cm before the stairs begin and ending 30 cm after the stairs finish.

Martyr Omer Halisdemir Congress and Culture Center

- Parking lots and building entrances are more than 30 meters apart. Since moving the parking lot and building entry would be challenging, the path leading from the parking lot to the building should be set up according to the guidelines, making sure that people with physical disabilities can enter independently and conveniently.

- Emergency exit instructions and directions should be organized in a way that everyone can easily see.
- Improvements should be made in the building in accordance with the regulations for the visually and hearing impaired.
- Guidance and information systems within the building should be improved so that visually and hearing impaired people can use them.
- There is only one independent disabled restroom on each floor. Since this situation will create a feeling of exclusion for individuals and there may be an increase in the number of users during events, conferences or exhibitions, troublesome situations may arise. In this context, separate cabins should be designed inside the men's and women's toilets, and if possible, all cabins should be arranged in a way suitable for the use of all user groups.
- The dimensions of the fittings in the toilets should be changed/regulated in accordance with the standards.
- The existing lecture halls do not have ramps of the required size and dimensions. Only in Hall 1071, access is provided using the elevator system. These solutions should also be applied to other lecture halls. The halls on the first floor, which are designed with flexible and accessible solutions and can be combined when necessary, serve all kinds of events and user groups.
- Color contrast should be created in fixed and movable furniture in the building.
- Audible, tactile and stimulating signs and arrangements should be included in the building entrance and corridors where circulation is intense; accessibility of hearing and visually impaired people in the space should be increased.
- Perception of the main elevator located far from the building entrance may pose a problem for the first time visitors. Necessary guidance is required.

Rectorate Building

- The Rectorate building is the most compliant building on campus with the standards for disabled parking lots. Tactile surfaces should be added to the route that provides access from the parking lot to the building, which will facilitate the access of individuals with visual impairments and provide guidance.
- There are no different exits for emergency escapes. This situation should be resolved as it may pose a danger.
- Although there are visually and hearing impaired employees in the administrative building, there are no arrangements for the visually and hearing impaired. Improvements and arrangements in accordance with the standards will be made to ensure a more comfortable and easy use.

- Guidance and information systems within the building should be organized in such a way that visually and hearing impaired people can also use them.
- Each floor has a disabled toilet located inside the men's and women's restrooms. However, wheelchair users may experience difficulties in crossing the corridor from the sinks to the cabins. This problematic situation should be eliminated. It has been observed that some disabled cabins are used as storerooms. This situation should be ended and it should be ensured that the cabins serve all users at all times, not only when necessary.
- The fittings in the toilet cubicles should be replaced with those that comply with the standards.
- In the corridors where circulation is intense in the building, audible, tactile and stimulating arrangements should be included to facilitate access for the hearing and visually impaired.
- Reducing or removing the size of the aquarium located at the entrance of the building will increase accessibility by preventing accidents that may occur.

Conflict of Interest Statement

The authors declares no conflict of interest.

Summary of Researchers' Contribution Rate Declaration

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

- ADAAG checklist for buildings and facilities, 2002 www.access-board.gov (accessed at 10 January 2022)
- Aslaksen F. User participation in planning, Oslo 1995
- Çınar N. Üniversite kampüslerindeki peyzaj erişilebilirliğinin engelliler açısından irdelenmesi. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/30445>, (Erişim tarihi: 16.08.2021).
- Demir-Mishchenko E., Zorlu F., Tsalıs P., Naniopoulos A., Nalmpantis D., Actus guidebook: Accessibility of the University Campus for People with Disabilities, Naniopoulos, A. and Gök, T. (eds.). Mersin: Mersin University Press, supported by The European Union, 2010.
- Demiroğlu D., Çoban A., Özgür D. Engelli bireylerin üniversite yerleşkelerinde ortak mekânları kullanabilmeleri üzerine örnek bir araştırma: Kilis 7 Aralık Üniversitesi Merkez Yerleşkesi. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi 2016; 6(13): 91-108 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/716800>, (Erişim tarihi: 16.08.2021).
- Dikel YZ. Evrensel tasarım kapsamında kullanıcıları iç mekan donatılarına erişebilirliğinin incelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Erişim tarihi: 26.06.2021).

- Dişyapar C., Güngör C. An investigation of the surrounding environments of selected high school buildings in Ankara with regard to Turkish Standards related with accessibility Gazi University Journal of Science Part B: Art, Humanities, Design and Planning 2015; 3(2): 17-35. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/83789>, (Erişim tarihi: 18.10.2021).
- Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni. <https://www.aile.gov.tr/eyhgm/sayfalar/istatistikler/engelli-ve-yasli-istatistik-bulteni>, Nisan, 2023, Erişim 10.07.2024
- Evcil AN. Wheelchair accessibility to public buildings in Istanbul. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 2009; 4(2): 76-85.
- Fink M. Mimari engellerin kaldırılması için rehber. (Guide for Removing Architectural Barriers) Bedensel Engellileri Güçlendirme Vakfı, 2000
- Gökdal M., Ünal S. Engellilik ve erişilebilirlik. TSE Standart Enstitüsü Ekonomik ve Teknik Dergisi, 59 (686), 36-53. <https://statik.tse.org.tr/upload/tr/dosya/icerikyonetimi/9376/28042020125827-2.pdf>, (Erişim tarihi: 23.12.2021).
- Hilmioğlu S., ve Kariptaş SF. Erişilebilir üniversite kavramı üzerine bir inceleme: Üniversite mekânlarının erişilebilirlik ve evrensel tasarım yönünden değerlendirilmesi. Online Journal of Art and Design 2021; 10(2). <http://adjournal.net/articles/102/1024.pdf>, (Erişim tarihi: 12.11.2021)
- <https://www.tdk.gov.tr/>, erişim tarihi 01.09.2021
- Kanun EH. TC Resmi Gazete, Sayı: 5378. 25868(07.07), 2005.
- Koca D., Yılmaz M. Engelliler için mekân düzenlemelerinde kapsayıcı tasarım. 2017.
- Lombardi AR., Murray C. Measuring university faculty attitudes toward disability: Willingness to accommodate and adopt Universal Design principles. Journal of Vocational Rehabilitation 2011; 34(1): 43-56.
- Ökten G. Evrensel tasarım ilkeleri doğrultusunda engelsiz üniversite kampüslerinin tasarlanması ve biçimlenmesi üzerine bir araştırma. Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye. 2018; 51.
- Şişman Y. Engelliler açısından eşitlik, ayrımcılık ve eğitim hakkı. Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi 2014; 32.
- Ünver H., Yamaçlı R. Ulaşılabilirlik kültürü. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2014; 2(1):215-226. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/56250>, (Erişim tarihi: 11.09.2021).
- URL-1 <https://www.ohu.edu.tr/sayfa/tarihcemiz>
- URL-2 <https://earth.google.com/>
- <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>

Türkiye’de Yalın Üretim Alanında Yapılan Lisansüstü Tezlerin İncelenmesi

Ömer Faruk EFE¹, Hasan ŞEN^{2*}

^{1,2} Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16350, Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0001-8170-5114>

²<https://orcid.org/0000-0003-0785-2778>

*Sorumlu yazar: hasan.sen@btu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.05.2024

Kabul tarihi:09.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Yalın üretim

İçerik analizi

Lisansüstü tezler

ÖZ

Yalın üretim, kuruluşların verimliliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak için çok önemli bir araştırma odağı haline gelmiştir. Hem sanayi kuruluşlarında hem de akademik alanda yalın üretim uygulamaları üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Yüksek Öğretim Kurumu Ulusal Tez Merkezi veri tabanında (YÖKTEZ), 1990 ile 2024 yılları arasında yalın üretim konusunda gerçekleştirilen 589 adet lisansüstü tez, tarama modeli kullanılarak incelenmiştir. Tezler, içerik analizi yöntemiyle değerlendirilerek; arama konusu, yayın yılı, kullanılan yöntemler, kullanılan paket programlar, uygulama sektörleri ve gerçekleştirildiği üniversiteler gibi spesifik bilgiler açısından sınıflandırılmıştır. Araştırma sonucunda en fazla tez çalışmasının 2019 yılında gerçekleştiği, tezlerin en çok İşletme ve Endüstri Mühendisliği anabilim dallarında yayımlanmıştır. Elde edilen sonuçların, yalın üretim üzerine araştırma yapmak isteyen araştırmacılar için önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma, daha önceden gerçekleştirilen çalışmalarla karşılaştırıldığında, daha özgün çalışmalar yürütülmesini sağlayacak ve araştırmacıların çalışılan konuları daha net görmelerini, literatürdeki boşlukları daha iyi değerlendirebilmelerini sağlayacaktır. Ayrıca yalın üretim ile ilgili çalışmalarda farklı sektörlerde ve anabilim dallarında çalışmaların yapıldığı gözlemlenmiş; Tam Zamanında Üretim (Just in Time-JIT) ile Değer Akış Haritalama (DAH) yaklaşımlarının yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

An Analysis of Graduate Theses on Lean Manufacturing in Türkiye

Research Article

Article History:

Received: 16.05.2024

Accepted: 09.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Lean manufacturing

Content analysis

Graduate theses

ABSTRACT

Lean production has become a crucial area of research for ensuring the efficiency and sustainability of organizations. Numerous studies have been conducted on lean production practices in both industrial and academic settings. This paper examines 589 graduate theses related to lean production, conducted between 1990 and 2024, using the National Thesis Center database of the Council of Higher Education (YÖKTEZ) and a survey model. The theses were evaluated using content analysis and classified based on specific information such as the research topic, publication year, methodologies used, software packages employed, application sectors, and the universities where they were conducted. As a result of the research, the highest number of thesis studies were carried out in 2019, and the majority of theses were published in the Business and Industrial Engineering departments. The findings of this paper are expected to serve as an important resource for researchers aiming to investigate lean production. Compared to previous studies, this research will facilitate the development of

more original studies and enable researchers to gain clearer insights into the topics studied, allowing for better assessment of gaps in the literature. Additionally, it was observed that studies related to lean production have been conducted across various sectors and disciplines; it was found that Just in Time (JIT) and Value Stream Mapping (VSM) approaches are widely used.

To Cite: Efe ÖF., Şen H. Türkiye’de Yalın Üretim Alanında Yapılan Lisansüstü Tezlerin İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 906-928.

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte son yıllarda yalın üretim kavramı, firmaların ve fabrikaların organizasyon düzenini daha etkin ve sistematik bir şekilde yürütebilmesi amacıyla oldukça önem kazanmıştır. Endüstrinin gelişmesi ve sanayi kuruluşlarının güçlenmesi, ülkenin refahı için önemli bir faktördür (Mutlu ve Altuntaş, 2017). Kuruluşlar sundukları ürün ve hizmetlerini müşteriye ulaştırırken çevrelerinde bulunan rekabet ortamını da değerlendirmek ve buna ilişkin alternatif çözüm yolları bulmak durumundadır (Turan ve Turan, 2015). Özellikle ürettiği ürünün veya müşteriye sunduğu hizmetin maliyetini azaltmak isteyen ve kar oranını yükseltmeyi hedefleyen kuruluşlar, yalın üretim felsefesini organizasyonları içerisinde uygulamak için harekete geçmektedirler. Kuruluşlar, ortaya çıkardıkları maliyet kalemlerini ve türlerini azaltmak için, bu maliyet kalemlerini ve türlerini israf olarak tanımlar. İsfraf olarak tanımlanan, üretime katma değeri olmayan durumları tamamen ortadan kaldırmayı hedefler (Turan ve Turan, 2015). Yalın üretim, dünya üzerinde ilk olarak 1950 yıllarında ortaya çıkan, Toyota otomotiv firmasında görev alan Eiji Toyoda ve Taiichi Ohno’nun Amerika’ya yaptıkları seyahat sırasında Ford’un kendi bünyesinde uygulamış olduğu kitleli üretim sisteminin Toyota’ya uygulanabilirliğinin incelenmesiyle başlayan bir kavramdır. 1980 yılından itibaren batılı ülkeler içerisinde artarak kullanılmaya başlanan bir iyileştirme yaklaşımı olmuştur (Uslu, 2022).

Yalın, temel anlamda, bir kuruluş veya bir organizasyonda, üretimin veya gerçekleştirilecek olan hizmetin bütün süreçlerinde bulunan israflardan kurtulmak olarak ifade edilmektedir. Katma değeri olmayan faaliyetler ile katma değer sağlayan faaliyetleri birbirinden ayırabilmek için ürüne ait değer akışının detaylı incelenmelidir (Uslu, 2022). Yalın üretim sisteminin asıl amacı görülebilmesi için, ilk olarak Toyota üretim sisteminin incelenmesi gerekmektedir. Yalın üretim sistemi, Toyota üretim sistemi temel alınarak oluşturulan bir iyileştirme yaklaşımıdır (Arslan, 2022). Yalın üretim kavramı, israfı temel alan ve israfa odaklanan bir felsefeden oluşmaktadır. İsfraf neticesinde üretimde ve hizmette mükemmelliğe ulaşmayı hedefler (Efe ve Efe, 2016). Organizasyon içerisinde herhangi bir gereksiz unsur bulundurmamayı, ortaya çıkan hataları minimum düzeye indirmeyi, maliyetleri minimize etmeyi, stok dengesini düzenlemeyi, işçilik ve üretim alanı gibi konuları en verimli şekilde yönetmeyi amaçlamaktadır.

Yalın üretim sisteminin öncelikli hedefi, üretim süreç faaliyetleri içerisinde gerçekleştirilen bütün işlerin, son kullanıcının satın almak için istekli davranacakları katma değeri olan ürünler veya hizmetlere dönüştürmektir (Yılmaz, 2012). Yalın üretim sisteminin, israfı azaltmak amacıyla birtakım araçları mevcuttur ve daha da geliştirilmeye devam etmektedir. Kanban sistemi, yalın üretimin araçlarından

birisidir. Yalın üretim sisteminin temel araçlarından birisi olan kanban sistemi, Japonca'da "görsel kanıt" anlamına gelen bir kavramdır (Demir, 2006). İlk olarak Toyota tarafından kullanılan kanban sistemi, envanter kontrolü amacıyla geliştirilen bir sistemdir. Kanban, üretilen parçaların herhangi bir bölgesine, üretilen parçaların belirli özelliklerini tanımlayan kartlardan meydana gelir. Yalın üretim sisteminin araçlarından bir diğeri tam zamanlı üretim sistemidir. Tam zamanlı üretim sistemi, sıfır atık ve minimum stok ile üretim felsefesine dayanan bir kavramdır. Tam zamanlı üretim sisteminin asıl amacı, en kısa zamanda en uygun maliyetle, en az israfla, en optimum iş gücü ile verimliliği arttırmayı hedefleyen sistem olarak ifade edilmektedir (Kaya, 2020). Yalın üretim sisteminin araçlarından birisi de kaizendir. Kaizen, yalın üretimin temel araçlarından birisidir ve kelime anlamı olarak da "sürekli iyileştirme" anlamına gelmektedir. Sürekli değişimi savunur. Değişim iki türlü gerçekleşebilir. Daha iyisi ve daha kötüsü için değişim gerçekleşebilmektedir (Ulugüner, 2021). Kaizen, daha iyisi için olan değişimdir. Her zaman yapılacak faaliyetlerin daha iyisi olabileceği felsefesini taşır. Altı sigma, yalın üretim sisteminin araçlarından bir diğedir. Altı sigma kavramı, bütün ürünlerin, süreçlerin içerisinde bulunan israfların ve hataların neredeyse tamamının elenmesini amaçlayan bir yalın üretim felsefesidir. Altı sigma kavramı, bir metodoloji olarak belirtilmez, aksine bir sonuç olarak ortaya çıkar (Öztürk, 2012). Yalın üretimin araçlarından bir diğeri değer akış haritalamadır. Değer akış haritalama yöntemi, ürünlerin üretim sürecinin ilk aşaması olan tedarikçiden ilk kullanıcıya hazır hale gelen aşamasına kadar olan bütün faaliyetlerin değerlerini ortaya koyan bir yalın üretim aracıdır (Efe ve Engin, 2012). Görsel olarak öne çıkan bir metottur ve diğer rakip kuruluşlara karşı verimliliği arttırmada oldukça yardımcı bir tekniktir. Katma değer sağlayan ve katma değer sağlamayan bütün faaliyetler değer akış haritasında görselleştirilir ve çeşitli şekiller ile ifade edilir (Aktaş, 2022). Poka yoke, yalın üretim içerisinde kullanılan bir diğer araçtır. Hataları önleme yaklaşımı olarak ortaya çıkan bir kavramdır ve hataların ortaya çıkma ihtimalini en düşük seviyelere getirme, ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır (Yaylagül, 2021). SMED, başka bir yalın üretim aracıdır. SMED, ortaya konulan üretim süreçlerini tekil dakikalara indirmeyi hedefleyen bir yalın üretim tekniğidir. Ortaya çıkan değişimi analiz eder ve daha iyisini elde etmeye çalışır.

Bu çalışmada, yalın üretim kavramı ve yalın üretim araçları ile ilgili literatürde gerçekleştirilen tezler incelenmiştir. Literatür incelendiğinde ülkemizde yalın üretim alanında hazırlanmış olan tezlerin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmaların belirli bir sektöre ait olduğu veya makale çalışmalarının incelenmesi üzerine olduğu görülmektedir (Yıldız ve Yalman, 2015; Cantaş ve ark., 2017). Literatürdeki tezler, hangi yalın üretim tekniği ile ilgili arama yapıldığı, hangi yöntemlerin kullanıldığı, hangi sektörde kullanıldığı, hangi paket programın kullanıldığı konu başlıklarına ayrılarak incelenmiş olup Microsoft Excel paket programında toplanmıştır. Ayrıca, lisansüstü tez sayılarının gerçekleştirildikleri yıllara, üniversitelere, enstitülere, anabilim dallarına, bölümlere göre sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışma, Türkiye'de yalın üretim ve yalın üretim araçları üzerine yapılmış lisansüstü tezlerin kapsamlı bir analizini sunarak yalın üretim alanında literatüre tez çalışmalarının incelendiği bir

çalışma olarak katkılar sunmaktadır. Türkiye’de Ulusal Tez Merkezi üzerinden toplam 589 adet lisansüstü tez, gerçekleştirilen çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, bugüne kadar yalın üretim konu başlıklı lisansüstü tez çalışmalarının genel bir değerlendirmesini ortaya koyması nedeniyle, gelecekte yalın üretim konusunda ele alınabilecek yalın üretim çalışmalarına da yol gösterebileceği düşünülmektedir. Çalışmanın bulguları, yalın üretim konusunda yapılacak gelecekteki araştırmalara yön vererek araştırmacılara kapsamlı ve veri temelli bir referans sunmaktadır. Özellikle, dijital dönüşüm, yeşil dönüşüm ve ergonomi gibi güncel yaklaşımlar ile yalın üretim uygulamaları arasındaki potansiyel entegrasyonlara dikkat çekilerek, bu alanlarda ileride yapılacak araştırmalara katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu yönüyle çalışma, yalın üretim üzerine yapılacak yeni lisansüstü tez çalışmalarının konu seçiminde stratejik kararlar alınmasına olanak tanıyan somut veriler sunmaktadır.

2. Literatür Araştırması

Tarama modeli ve içerik analizi yöntemleriyle farklı alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak yalın üretim alanında bir çalışmanın yapıldığı görülmemiştir. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur. Mutlu ve Altuntaş (2017), yapmış oldukları çalışmada, Türkiye içerisinde 1974 yılı ile 2016 yılı arasındaki iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili gerçekleştirilen lisansüstü tezleri içerik analizi yöntemi ile incelemiştir. Toplamda 795 adet lisansüstü tezin incelemesinin gerçekleştirilip, tezlerin yayın yılı, araştırma konusu, kullanılan yöntem ve yaklaşımlar bakımından sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sayesinde iş sağlığı ve güvenliği alanında çalışılan konuların yoğunlukları tespit edilmiştir ve literatürdeki çalışılmaya değer boşlukların görülmesi sağlanmıştır. Tereci ve Bindak (2017), yapmış olduğu çalışmada, 2010 ile 2017 yılını kapsayan yıllarda, matematik ile ilgili gerçekleştirilen lisansüstü tezlerin incelemesini gerçekleştirmiştir. Toplamda 490 adet yüksek lisans tezi ve 112 adet doktora tezi, tarama modeli kullanılarak incelenmiştir. Araştırma ile, kadın araştırmacıların son zamanlarda erkek araştırmacılara göre daha çok sayıda olduğu, yüksek lisans tezlerinde örneklem seti olarak en fazla kullanılan parametrenin öğrenciler olduğu, doktora tezlerinde ise en fazla kullanılan örneklemin öğrenci ve öğretmenler olduğu ortaya çıkmıştır. Tosuntaş ve ark. (2018), yaptığı çalışmada, eğitim ve öğretim teknolojileri alanında gerçekleştirilen tezlerin incelemesini gerçekleştirmiştir. Tarama modeli ve içerik analizi kullanılarak gerçekleştirilen ve çalışmada, toplamda 190 adet tez bulunmuştur fakat 148 tane tez çalışma kapsamında incelenmiştir. Genel olarak lisansüstü tez sayılarında azalma olduğu, bilgi eksikliği sebebiyle yanlış yöntem ve istatistiklerin kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Erdem (2018), yapmış olduğu çalışmada medya okuryazarlığı eğilimleri ile ilgili yapılan lisansüstü tezlere yönelik bir içerik analizi çalışması gerçekleştirmiştir. 2007 yılı ile 2017 yılları arasını kapsamaktadır ve toplamda 65 lisansüstü tez incelemek için çalışmada kullanılmıştır. En fazla tezin 2013 senesinde gerçekleştirildiği, 18 üniversitede medya okuryazarlığı ile ilgili sadece bir tez yapıldığı gözlenmiştir. Çilingir (2017), yaptığı çalışmada iletişim alanı ile ilgili yapılan yüksek lisans ve doktora tezlerini içerik analizi yöntemi ile incelemiştir. 1996 yılı 2015 yılı arasında yapılan lisansüstü tezler baz alınarak, 33 yüksek lisans ve 31 doktora tezi olmak üzere toplamda 64 adet tez taranmıştır.

Karakuş (2020), yaptığı çalışmada Türkiye’de sosyal bilimler eğitiminde belirli kavramlar için gerçekleştirilen yüksek lisans ve doktora tezlerinin incelemesini gerçekleştirmiştir. Ulusal tez merkezinden toplanan lisansüstü tezler, toplamda 50 adettir. İçerik analiziyle gerçekleştirilen tez inceleme çalışmasında, tezlerin örneklemelerinin genelinde ilköğretim seviyesindeki öğrenciler yer aldığı ve tezler içerisinde birçok kavram yanlışlığı tespit edilmiştir. Gerçek ve Zığaloğlu (2023), Türkiye’de iş biçimlendirme çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen lisansüstü tezlerin incelenmesine yönelik çalışma gerçekleştirmiştir. Tez doküman analizi ile, lisansüstü tezleri tür, üniversite, anabilim dalı, yayın yılı, yayın dili, kullanılan yöntem kriterlerine göre değerlendirmiştir. Tekerci (2023), okul öncesi dönem için bilimsel süreç becerilerine yönelik gerçekleştirilen lisansüstü çalışmaları incelemiştir. 2010-2022 yılları arasında gerçekleştirilen tezlerin incelendiği çalışmada, 45 lisansüstü tez taranmıştır, en fazla yayının 2019 yılında yapıldığı belirlenmiştir. Lisansüstü tezlerde en fazla çocuklarla çalışıldığı ve çoğunlukla nicel araştırma yöntemlerinin tercih edildiği ortaya konulmuştur. Yaşar ve Yaşar (2024), çalışmalarında Türkiye’de 2010-2022 yılları arasında sanal zorbalık alanında Yöktez veri tabanında yayımlanan lisansüstü tez çalışmalarını incelemişlerdir. Tezlerin en çok eğitim bilimleri enstitüsünde yayımlandığı, en çok nicel araştırma yöntemlerinin kullanıldığı, örneklem olarak lise ve ortaokul öğrencilerinin ele alındığı tespit edilmiştir. Kaya ve Avşar (2024), yabancı dil olarak Türkçe öğretiminde metin sadeleştirme üzerine gerçekleştirilen çalışmaları incelemiştir. 2011-2021 yılları arasında metin sadeleştirme üzerine 33 lisansüstü tez ve 2 makale belirlenmiş olup, yabancı diller bakımından çalışmalar sınıflandırılmıştır. Bayar (2023), Türkiye içerisinde problem çözmeyi geliştirmeye yönelik olarak ilköğretim düzeyindeki lisansüstü tezleri incelemiştir. 2012-2022 yılları arasındaki tezlerin incelendiği çalışmada, kriterlere uygun 29 lisansüstü tez incelenmiştir ve problem çözme becerisine yönelik olarak daha fazla lisansüstü tez çalışmasının gerçekleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Lisansüstü tez literatürünün incelenmesi çalışmaları haricinde, yalın üretim alanında yapılmış bazı çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Ersöz ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada demir çelik hattında yalın üretim faaliyetlerini uygulamıştır. Değer akış haritalama, benzetim modellemesi ile üretim hattı içerisindeki süreçlerin performanslarını belirlemiştir. Bunun sonucunda, sevkiyat bölümünde yer alan stoklarda azalma meydana gelmiştir, emniyet stoklarında herhangi bir dengesizlik yaşanmayacak şekilde süreç içerisinde iyileştirilmeye gidilmiştir. Efe ve Engin (2012), yaptıkları çalışmada bir acil servis üzerinde, yalın üretimin değer akış haritalama aracını uygulamıştır. Acil servis sisteminin mevcut durumu için değer akış haritası oluşturulmuştur ve gelecek durum haritası da oluşturulurken hizmet sistemleri üzerinde uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Terzi ve Atmaca (2011), gerçekleştirdikleri çalışmada yalın üretimin araçlarından birisi olan değer akış haritalamanın maliyetini incelemiştir. Değer akış maliyetinin faaliyetleri içerisindeki önemi belirlenmiştir. Türkan (2010), çalışmasında üretim faaliyetleri içerisinde yalın dönüşümün temel performans kriterlerini belirlemiştir. Yalın dönüşüm gerçekleştiren kuruluşların, faaliyetlerinde oluşan başarısızlıkların asıl sebeplerini ortaya çıkarmak ve başarılı çalışmaları ortaya koyacak yol haritasını belirlemek istemiştir. Efe ve Efe (2016), çalışmasında bir acil servis üzerinde,

yalın sağlık yönetimi için değer analizi uygulamıştır. Hastaların algılamış oldukları etki değerlerini belirlemek amacıyla DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi kullanılmıştır. Silvestri ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada, yalın üretim kavramını endüstri 4.0 ortamında uygulamak için hangi araçlara ihtiyaç olduğuna ilişkin literatür incelemesi gerçekleştirmiştir. Yalın retim ve endüstri 4.0 teknolojisi arasındaki ilişkiyi anlamayı hedeflemiştir.

3. Materyal ve Metot

Gerçekleştirilen bu çalışmada, yalın üretim konu başlıklı ve yalın üretim araçları ile ilgili yüksek lisans, doktora ve tıpta uzmanlık tezleri, tarama modeli kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra içerik analizi yöntemlerinden sıklık analizi kullanılarak detaylı şekilde incelenmiştir. Sıklık analizi, içerik analizinde kullanılan sayısal bir yöntem olup, belirli bir veri kümesinde veya metin içerisinde belirlenmiş kavram, kategori veya ifadelerin kaç kez tekrarlandığını belirlemeye odaklanır. Bu analiz türü, araştırma konusu ile ilgili hangi unsurların daha fazla vurgulandığını veya ne çıktığını saptayarak genel eğilimlerin ve yoğunlukların nesnel bir şekilde ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır.

Araştırmanın temel problemi ‘‘Türkiye’de 1990-2024 yılları arasında yalın üretim alanında yayınlanan lisansüstü tez çalışmalarının analizi nasıldır?’’ olarak belirlenmiştir. Araştırmanın bir bütün olarak incelenmesi, benzerlik ve farklılıkların ortaya konulması hedeflenmektedir. Bu hedefe yönelik olarak hazırlanan sorular Tablo 1’de sunulmuştur.

Çalışmada, 1990 yılı ile 2024 yılları arasında yalın üretim ve araçları ile ilgili yapılan lisansüstü tezler toplanmıştır. Toplanan lisansüstü tezlerin 70 tanesi doktora tezi, 6 tanesi tıpta uzmanlık tezi ve 513 tanesi ise yüksek lisans tezidir. Tezlerin sayılarının hangi lisansüstü programına bağlı olduğu Tablo 2’de gösterilmektedir. İncelenen lisansüstü tezler için, yalın üretim ve yalın üretim araçları ile ilgili arama gerçekleştirilmiştir. Altı sigma, çekme sistemi, değer akış haritalama, deming döngüsü, kaizen, kalite çemberi, kanban, poka yoke, SMED, tam zamanında üretim sistemi yalın üretim kelimelerini tezlerinin başlıklarında bulduran tezler toplanmıştır. Yapılan bu çalışmada, Ulusal Tez Merkezi zerindeki, yalın üretim ve yalın üretim araçları ile ilgili toplam 589 adet tez incelenmiştir. Tezler 1990 yılı ile 2024 yılı arasında yer almaktadır ve birçok bilim disiplinini içermektedir.

Tablo 1. Lisansüstü Tez İncelemesinde Kullanılan Sorular

Sorular
1.Lisansüstü tezlerin yıllara göre dağıllmaları nasıldır?
2.Tezin gerçekleştirildiği program hangi enstitüye bağlıdır?
3.Tezin gerçekleştirildiği yer hangi anabilim dalına bağlıdır?
4.Tez hangi niversiteye bağlı olarak ortaya konmuştur?
5.Lisansüstü tez taraması yapılırken hangi yalın üretim tekniği kullanılarak arama gerçekleştirilmiştir?
6.Tezde hangi paket program kullanılmıştır?
7.Tez hangi sektörde gerçekleştirilmiştir?

Çalışmada ilk olarak yalın üretim araçları belirlenmiştir ve hangi yalın üretim araçlarının arama kapsamına alınacağı belirlenmiştir. Hangi yalın üretim araçlarının lisansüstü tez kapsamında aratılacağı belirlendikten sonra, tezler yıl, enstitü, anabilim dalı, üniversite ve bölüm olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra, sınıflandırılan gerçekleştirilen tezler sıklık analizi yöntemiyle detaylı şekilde incelenmiştir.

Tablo 2. Lisansüstü tezlerin lisansüstü program türlerine göre dağılımı

Program	Toplam Adet
Yüksek Lisans	513
Doktora	70
Tıpta Uzmanlık	6

İçerik analizi, tezlerin başlıkları, içindekiler kısmı, araştırmanın uygulanan modeli, kullanılan yöntem, kullanılan veriler, sonuç bölümleri incelenerek gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) veri tabanında, tezin başlığı içerisinde bulunan anahtar kelimeler ve elde edilen sayıları Tablo 3'te gösterilmiştir. Belirtilen anahtar kelimeler, incelenen 589 lisansüstü tez çalışmasının başlığında mevcuttur.

Tablo 3. Lisansüstü tezlerde yer alan anahtar kelimeler

Anahtar Kelime	Tez Sayısı
Altı Sigma	218
Yalın Üretim	156
Tam Zamanında Üretim	99
Kaizen	35
Kanban	25
Değer Akış Haritalama	24
SMED	13
Kalite Çemberi	6
Deming Döngüsü	5
Poka Yoke	5
Çekme Sistemi	3

Verilerin analizini gerçekleştirmek ve grafikleri yorumlayabilmek amacıyla Microsoft Office Excel programı kullanılmıştır. Bütün veriler ilk olarak Microsoft Office Excel programında toplanmıştır, daha sonra konu başlıklarına ilişkin detaylı analiz gerçekleştirebilmek için Microsoft Office Excel'in özel fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Belirlenen her bir araştırma sorusuna ilişkin incelemeler ve detaylı açıklamalar bulgular kısmında belirtilmiştir.

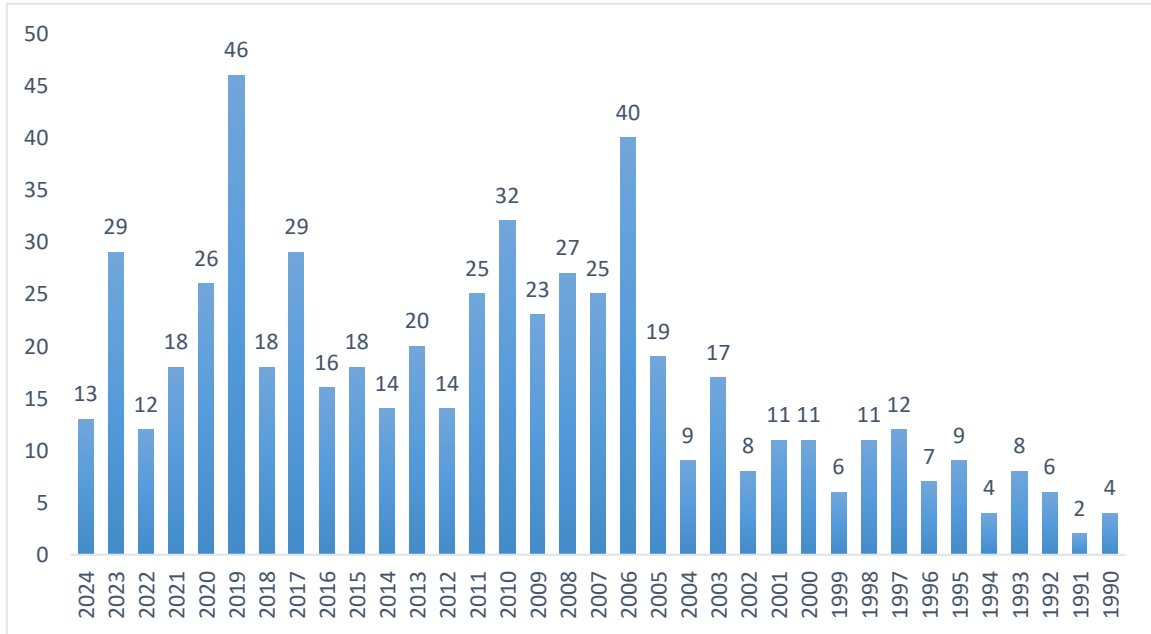
4. Bulgular

Yalın üretim ve yalın üretim araçları kapsamında bulunan ve 1990 yılı ile 2024 yılı arasında Ulusal Tez Merkezi tarafından yayınlanan lisansüstü tezlerin yıllara göre dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna

ek olarak, tezlerin yayımlandıkları anabilim dalı, enstitü ve üniversite ilgili spesifik bilgiler ilerleyen bölümlerde gösterilmiştir (Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10).

4.1. Lisansüstü Tezlerin Yıllara Göre İncelenmesi

Türkiye içerisinde, 1990 yılı ile 2024 yılları arasında, Ulusal Tez Merkezi üzerinde yalnız üretim ve yalnız üretimin araçları ile ilgili 589 adet tez yazılmıştır. İncelenen tezlerden 1990 yılına ait 4 adet tez bulunmaktadır ve bu tezlerden 1 tanesi kanban, 3 tanesi ise tam zamanında üretim konusu hakkında yazılmıştır. 1990 yılında yapılan tezlerin hepsi yüksek lisans tezidir. İlk doktora tezi 1991 yılında yalnız üretimin kalite çemberi aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tıpta uzmanlık üzerine gerçekleştirilen ilk tez ise, 2009 yılında yalnız üretimin altı sigma aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yıllara göre yapılan tezler incelendiğinde; en fazla tez çalışmasının 2019 yılında (46 adet) olduğu gözlenmiştir. Bu veriyi daha sonra 2006 yılının (40 adet) izlediği gözlenmiştir. Ülkemizde yaşanan ekonomik krizler sonrasında işletmelerin israflardan korunmak amacıyla verimlilik artırmayı amaçlayan yalnız üretim çalışmalarına yöneldiği düşünülmektedir.

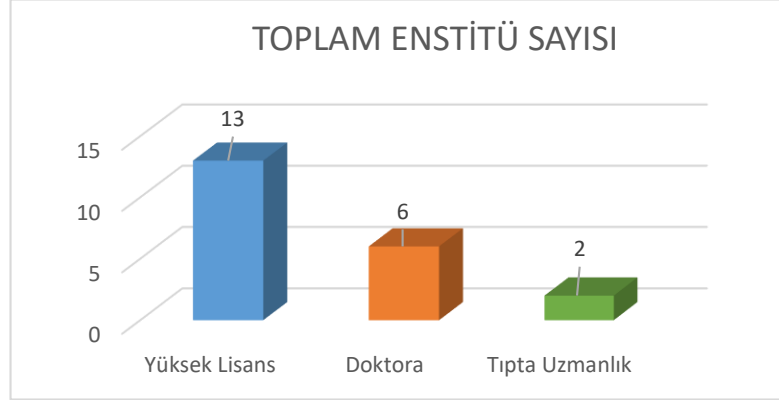


Şekil 1. Lisansüstü tezlerin yıllara göre dağılımı

4.2. Lisansüstü Tezlerin Gerçekleştiği Enstitü Sayısına Göre İncelenmesi

Yalnız üretim ve yalnız üretimin araçları ile ilgili yapılan lisansüstü tezler, buldukları enstitüye göre de sıralanmıştır. 1990 yılı ile 2024 yılı arasında yapılan lisansüstü tezler sıralandığında, toplamda 13 farklı enstitüde yapılan yalnız üretim ve yalnız üretimin araçları ile ilgili lisansüstü tez bulunmaktadır. Yüksek lisans, doktora ve tıpta uzmanlık alanında yapılan lisansüstü tezleri için, toplamda kaç farklı enstitüde gerçekleştirildiği Şekil 2’de gösterilmiştir. Yüksek lisans için yapılan tezler 13 farklı enstitüde, doktora programı için gerçekleştirilen tezler 6 farklı enstitüde, tıpta uzmanlık için yapılan tezler ise 2 farklı enstitüde yapılmıştır. Bu sayılar göz önüne alındığında; yalnız üretim çalışmalarının sadece işletme ve

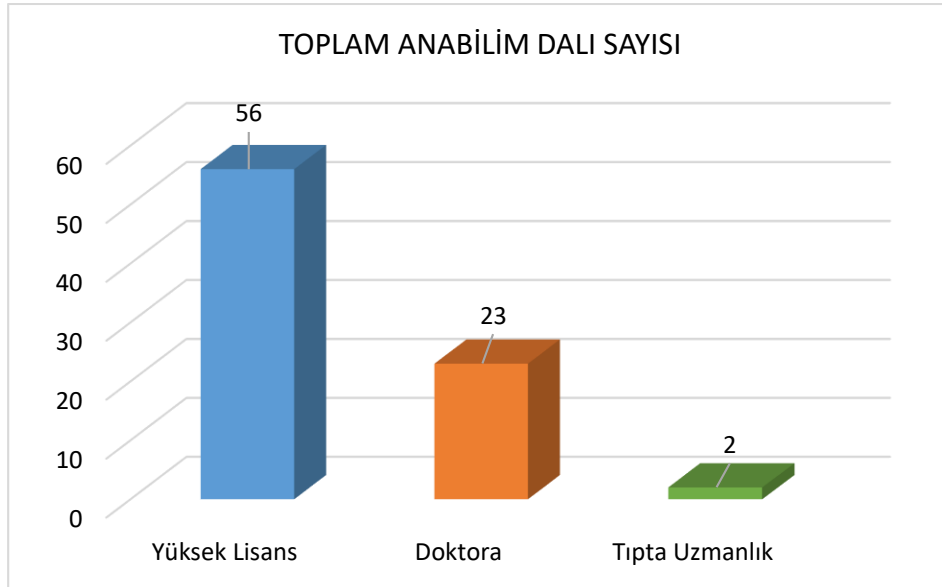
endüstri mühendisliği alanlarına bağlı sosyal bilimler ve fen bilimleri enstitülerinde değil, farklı alanlarda ve enstitülerde de çalışılmaya değer önemli bir çalışma konusu olduğu görülmektedir (Tablo 9).



Şekil 2. Lisansüstü tezlerin gerçekleştiği enstitü sayısına göre dağılımı

4.3. Lisansüstü Tezlerin Gerçekleştiği Anabilim Dalı Sayısına Göre İncelenmesi

Gerçekleştirilen lisansüstü tezler anabilim dallarına göre incelendiğinde, yalnız üretim alanında yapılan 589 tez, toplamda 69 farklı anabilim dalında yazılmıştır. Yüksek lisans tezleri, 56 farklı anabilim dalında yazılırken, doktora tezleri 23, tıpta uzmanlık tezleri ise 2 farklı anabilim dalında yazılmıştır. Tezlerin, buldukları lisansüstü programına göre gerçekleştiği anabilim dalı sayısı Şekil 3'te gösterilmiştir.



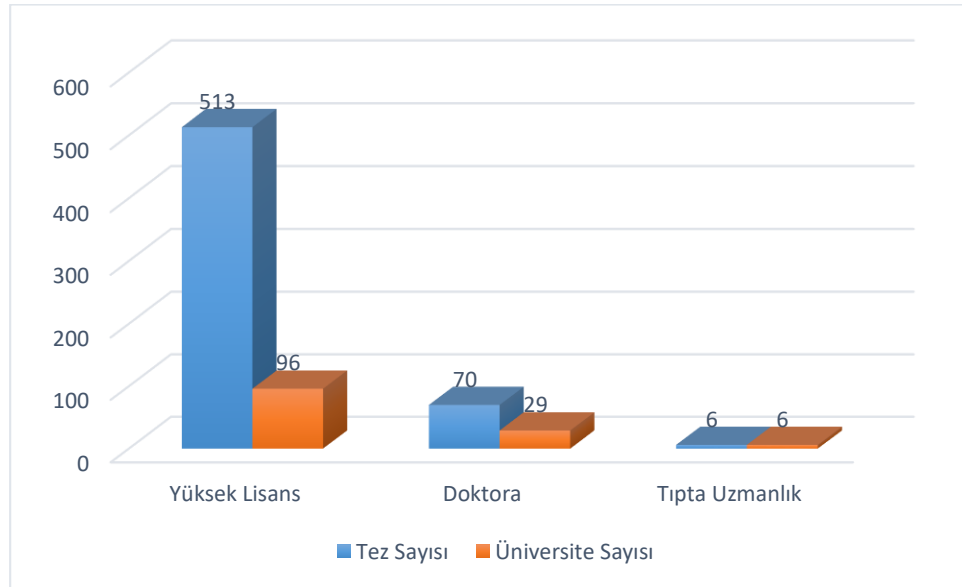
Şekil 3. Lisansüstü tezlerin gerçekleştiği anabilim dalı sayısına göre dağılımı

Yüksek lisans tezlerinin 56 farklı anabilim dalında çalışıldığı görülmektedir. Bu durum yalnız üretim uygulamalarının farklı disiplinlerde çalışıldığını göstermektedir. Burada elde edilen sayılar oranlandığında, anabilim dalı başına düşen yüksek lisans tezi sayısı 9,16 adet, doktora tezi sayısı 3,04 adet ve tıpta uzmanlık tezi sayısı 3 adettir. Yüksek lisans tezlerinin, doktora tezlerine ve tıpta uzmanlık tezlerine göre daha fazla ve daha hızlı şekilde yapıldığı gözlemlenmektedir. Bunların en büyük nedenleri

ise, üniversiteler içerisinde yüksek lisans programının, doktora programı ve tıpta uzmanlık programına göre çok daha fazla sayıda bulunmasıdır. Özellikle son yıllarda ülkemizde ve dünyada, çalışmaların arttığı; iş sağlığı ve güvenliği, afet yönetimi, yeşil dönüşüm ve dijital dönüşüm ile ilgili konularda yapılacak çalışmaların sürekliliğini ve gelişimini sağlamak amacıyla yalın düşüncenin entegre edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu durum yalın üretimle ilgili çalışma yürütülen anabilim dalı sayılarının artacağını göstermektedir.

4.4. Lisansüstü Tezlerin Üniversitelere Göre İncelenmesi

Türkiye içerisinde lisansüstü tezler üniversite açısından değerlendirildiğinde, Ulusal Tez Merkezinde bulunan yalın üretim konulu tezler toplamda 96 farklı üniversitede gerçekleştirilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde; yapılan tezlerin en fazla, Dokuz Eylül, İstanbul Teknik ve Gazi Üniversitesi olduğu görülmektedir. Bu üniversitelerin bulunduğu şehirlerin sanayileşme gücüyle bağlantılı olarak böyle bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Endüstri Mühendisliği ve İşletme Anabilim dallarının yine bu üniversitelerde uzun yıllardır var olması da bu sayıları etkileyebilmektedir. Ülkemizdeki üniversitelerin yaklaşık yarısında yalın üretimle ilgili tez çalışmaları yapılmıştır. İsraflardan arınmış bir yalın devlet modeli ve yalın üniversiteler oluşturmak için bu çalışmaların artırılması gerektiği düşünülmektedir. Lisansüstü tezlerin, tez sayılarının ve üniversite sayılarının karşılaştırılması Şekil 4’te gösterilmiştir. Yüksek lisans tezlerinde, çalışmanın yürütüldüğü üniversite başına düşen tez oranı 5.3, doktora 2.4, tıpta uzmanlık ise 1.0 değerini almaktadır.



Şekil 4. Tez Sayıları ile Üniversite Sayılarının Lisansüstü Programına Göre Karşılaştırılması

Tablo 4’te, yalın üretim araçlarının en çok kullanıldığı 10 üniversite gösterilmiştir.

Tablo 4. Yalın Üretim Araçlarının En Çok Kullanıldığı 10 Üniversite

Yalın Üretim Aracı	Frekans
Dokuz Eylül Üniversitesi	67
İstanbul Teknik Üniversitesi	64
Gazi Üniversitesi	46
Marmara Üniversitesi	36
Sakarya Üniversitesi	28
Uludağ Üniversitesi	26
Kocaeli Üniversitesi	21
Selçuk Üniversitesi	17
İstanbul Üniversitesi	14
Çukurova Üniversitesi	13

Yüksek lisans süresinin doktora ve tıpta uzmanlığa göre daha kısa zaman sürmesi, bu ortalamaların aldığı değeri ortaya koyan önemli bir faktördür. Buna ek olarak da doktora ve tıpta uzmanlık alanında eğitim gören öğrencilerin gördükleri eğitim süreçlerinin yüksek lisansa göre daha kapsamlı ve uzun oluşu ortaya konan çalışma sayısı da aynı derecede düşüktür. Yalın üretim alanında ele alınan tekniklerin özellikle doktora ve tıpta uzmanlık alanında uygulanabilmesi için yalın üretim tekniklerinin farklı disiplinlerdeki tekniklerle hibrit olarak ele alınması bu sayıları artırabilecektir.

4.5. Lisansüstü Tezlerin Kullanılan Yalın Üretim Tekniklerine Göre İncelenmesi

Yapılan lisansüstü tezlerde, birbirinden farklı yalın üretim araçları kullanılmıştır. Bazı tezlerde tek bir yalın üretim aracından faydalanılırken, bazı tezlerde ise birden çok yalın üretim aracından faydalanılmıştır. Kullanılan yalın üretim araçları olarak, en fazla kullanılan yalın üretim aracı altı sigma olmuştur. Altı sigmanın dışında, tam zamanında üretim, değer akış haritalama, kaizen, kanban, SMED, 5S, poka yoke, kalite çemberi, deming döngüsü, çekme sistemi yalın üretim araçları olarak kullanılmıştır. Kullanılan yalın üretim araçlarına ilişkin ayrıntılı bilgi, Tablo 5'te gösterilmektedir.

Kullanılan yalın üretim araçlarının değerleri de incelendiğinde, altı sigma, tek başına kullanıldığı lisansüstü tezlerinde %38,2 ile en çok kullanılan konu başlığı olmuştur. Altı sigma çalışmalarının, yalın üretim alanında yapılan çalışmalara önemli katkı sunabileceği için burada birlikte ele alınmıştır. Tam zamanında üretim sistemi, yalnız başına kullanıldığında lisansüstü tezlerde %17,3 değerinde kullanılmıştır. Değer akış haritalama yöntemi de lisansüstü tezlerde %11,5 değerinde kullanılmıştır. Lisansüstü tezlerin incelenmesinde kullanılan anahtar kelimelere ilişkin bir kelime bulutu oluşturularak Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Yalın Üretim Araçlarının Kullanım Yüzdeleri

Yalın Üretim Aracı	Frekans	%
Altı Sigma	225	38,2
Tam Zamanında Üretim	102	17,3
Değer Akış Haritalama	68	11,5
Kaizen	29	4,9
Kanban	24	4,1
Kanban + Tam Zamanında Üretim	20	3,7
SMED	19	3,2
5S	16	2,7
Poka Yoke	12	2
Kalite Çemberi	10	1,7
Deming Döngüsü	9	1,5
Çekme Sistemi	8	1,4
5S + Kaizen	6	1
Altı Sigma + Kaizen	5	0,8
Kanban + SMED	5	0,8
5S + Kanban	4	0,7
Altı Sigma + Değer Akış Haritalama	4	0,7
Altı Sigma + Tam Zamanında Üretim	3	0,5
5S + Kaizen + SMED	3	0,5
Kalite Çemberi + Kaizen	3	0,5
Kanban + Kaizen	3	0,5
Kanban + Poka Yoke	3	0,5
5S + SMED	3	0,5
5S + SMED + Kanban	3	0,5
Tam Zamanında Üretim + SMED	1	0,2
SMED + Poka Yoke	1	0,2

**Şekil 5.** Lisansüstü Tezlerde Kullanılan Anahtar Kelimelere ait Kelime Bulutu

Yalın üretimin temel uygulamalarından olan SMED ve Kanban çalışmalarına daha fazla odaklanılması gerektiği görülmektedir. Yalın üretim çalışmalarının kuruluşları mükemmellik düzeyine

taşıyabilmesinin önemli yolu çekme sisteminin uygulanabilir olmasına bağlıdır. Bu nedenle SMED ve Kanban çalışmalarına entegre edilecek farklı optimizasyon tekniklerinin kullanımıyla akademik ve saha çalışmalarına önemli katkılar sunulabileceği öngörülmektedir. Ayrıca yalın tekniklerinin altı sigma, simülasyon, karar verme teknikleri vb. yöntemlerle birlikte kullanılarak yapılacak çalışmalarda daha etkili sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

4.6. Lisansüstü Tezlerin Kullanılan Paket Programlara Göre İncelenmesi

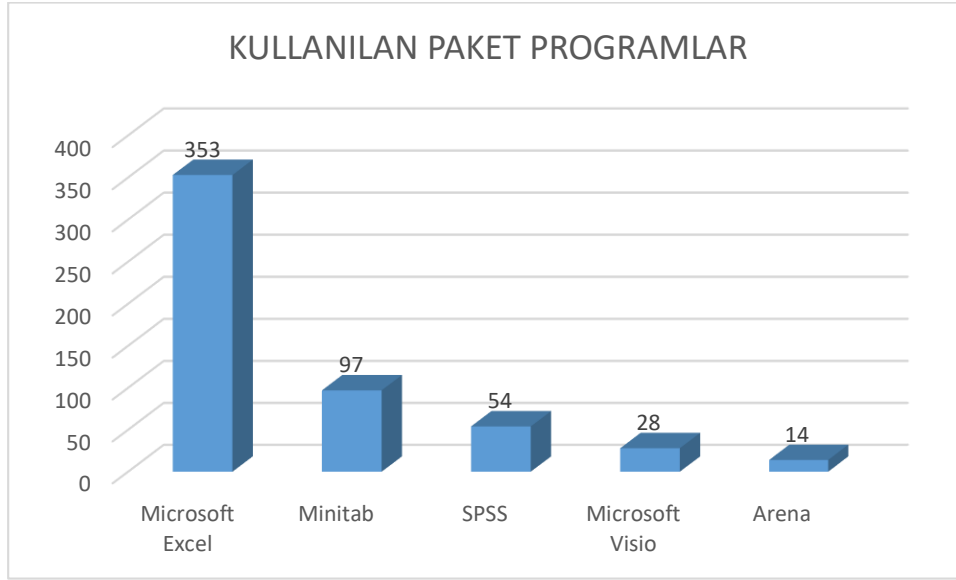
Lisansüstü tezlerde, parametrik olan veya parametrik olmayan testleri gerçekleştirmek için paket programlar kullanılmıştır. Lisansüstü tezlerde kullanılan paket programlar Tablo 6’da listelenmiştir.

Tablo 6. Lisansüstü Tezlerde Kullanılan Paket Programlar

Paket Program	Frekans	%
Microsoft Excel	353	59,9
Minitab	97	16,4
SPSS	54	9,1
Microsoft Visio	28	4,7
Arena	14	2,3
SPSS + Minitab	11	1,8
LINGO	8	0,8
Visual Basic	5	0,8
GAMS	2	0,3
SIMUL8	2	0,3
SolidWorks	2	0,3
Matlab	1	0,1
Sas	1	0,1
Siman	1	0,1
Smaltalk-80	1	0,1
Abaqus	1	0,1
C#	1	0,1
Cad + Cam	1	0,1
Ilog Cplex Optimization	1	0,1
Kkp	1	0,1
Lp Solve Ide	1	0,1
Amos	1	0,1
Statgraphic	1	0,1
Vza	1	0,1

Kullanılan paket programlar özelinde, en çok kullanılan paket program 353 adet ile Microsoft Excel’dir. Yalnızca yalın üretim uygulamalarının kullanılacağı çalışmalar için yeterli olmaktadır. Minitab paket programı ise 97 farklı lisansüstü tez çalışmasında kullanılmıştır. SPSS programı da lisansüstü tezlerde 54 kez kullanılmıştır ve en çok kullanılan üçüncü paket program olduğu gözlenmiştir. Kullanılan paket programlar, yalın üretim uygulamalarında farklı analiz türleri ve veri işleme ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak tercih edilmiştir. En çok kullanılan program olan Microsoft Excel, yalın üretim çalışmalarında temel veri analizi, grafik oluşturma ve basit hesaplamalar için yeterli olabilmektedir.

Minitab ise daha spesifik istatistiksel analizler ve süreç kontrol analizleri için tercih edilmektedir; bu da onu, yalın üretim süreçlerinde daha ayrıntılı analizler gerektiren çalışmalarda önemli bir araç haline getirmiştir. Üçüncü sıradaki SPSS programı ise özellikle anket veya deney sonuçlarının analizinde tercih edilmiştir. İş akış diyagramlarının kullanılmasında VISIO programı, simülasyon aracılığıyla analizinde ise ARENA vb. programlardan faydalanılmıştır. Bu yüzdeler dağılımı, tez çalışmalarında yalın üretimle ilgili analiz gereksinimlerinin çeşitliliğini yansıtarak, program tercihinde yalın üretim uygulamasının amacına göre bir seçim yapıldığını göstermektedir. En sık kullanılan paket programların dağılımı da Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 6. Lisansüstü Tezlerde En Sık Kullanılan Paket Programlar

4.7. Lisansüstü Tezlerin Uygulandıkları Sektörlere Göre İncelenmesi

Yalın üretim ve yalın üretim araçları alanında yapılan tezler uygulandıkları sektörlere göre incelendiğinde, üretim sektöründe yapılan lisansüstü tezlerinin sayısı 186 adettir. Bu tezlerin 162 tanesi yüksek lisans alanında yapılan tezler olurken, 24 tanesi ise doktora alanında yapılan tezler olmuştur. Üretim sektörünü daha sonra yapılan 92 lisansüstü tez çalışmasıyla otomotiv sektörü takip etmektedir. Yalın üretimin öncüleri olan Taichi Ohno vd. mühendislerin Toyota fabrikasında yapmış oldukları çalışmalar, otomotiv sektöründe ilk olarak bu çalışmaların yapılma ihtiyacını doğurmuştur. Otomotiv sektöründe başarıyla uygulanan kaizen faaliyetleri daha sonra tekstil ve lojistik gibi alanlarda da uygulanmasını mümkün kılmıştır. Tekstil gibi bazı sektörlerde, firmaların kurumsal gelişimine, sürekliliğine, ürün kalitesine ve buna ait denetimlere yeterince hazırlıklı olabilmek için yalın üretim uygulamalarının kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca yalın üretim uygulamalarının özellikle sağlık sektöründe uygulanmasında artış görülmektedir (Aloğlu ve Mert, 2022; Doğan ve Yağlı, 2019). Sağlık yönetimi alanında yapılacak çalışmalar içinde temel bir yönetim anlayışı sunabilmektedir. Hazırlanan lisansüstü tezlerin uygulandığı tüm sektörlerle ait dağılımı, Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Lisansüstü tezlerin uygulandıkları sektörlere göre dağılımı

Sektör	Yüksek Lisans	Doktora	Tıpta Uzmanlık	Toplam
Üretim diğerleri	162	24	0	186
Otomotiv	76	6	0	92
Tekstil ve Hazır Giyim	51	6	0	57
Genel diğerleri	42	5	0	47
Hizmet diğerleri	34	2	0	36
Finans	27	5	0	32
Lojistik	24	2	0	26
Sağlık	17	7	1	25
Gıda	22	2	0	24
İnşaat	12	2	0	14
Eğitim	9	1	0	10
İş Sağlığı ve Güvenliği	6	1	0	7
Kimya	2	0	5	7
Savunma Sanayi	3	0	0	6
Hayvancılık	4	0	0	4
Tarım	3	0	0	3
Spor	1	2	0	3
Turizm	2	1	0	3
Turizm	2	1	0	3
Enerji	1	1	0	2
Yazılım	2	0	0	2

Yukarıdaki tablo 7 incelendiğinde, yalın üretim uygulamalarının başta otomotiv, tekstil ve lojistik olmak üzere tüm üretimle ilişkili sektörlerde uygulanmakta olduğu görülmektedir. Özellikle finans ve sağlık sektöründe başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir. Süreçlerin katma değerli hale dönüştürülmesinde önemli bir işlev üstlenmektedir. Savunma sanayinde faaliyet gösteren firmalar içinde israflardan arındırılmış ürünler ve sistemler ortaya konulabilmesi için önemli bir araçtır. Tezler incelediğinde hazırlanan bazı çalışmaların yapıldığı sektörlerin net olarak belirtilmemesi, ya da birkaç farklı sektörden veri ele alınarak yapılmış olması, belirtilen sektörlerin haricinde bir sektörde yapılmış olması gibi nedenlerden dolayı tablo 7’de belirtilen sektörler haricindeki alanlar için; hizmet diğerleri, üretim diğerleri ve genel diğerleri olarak tanımlamalarda bulunma gereği duyulmuştur.

5.Sonuç

Gerçekleştirilen bu çalışmada, 1990 yılı ile 2024 yılları arasındaki yalın üretim ve yalın üretimin araçları ile ilgili yapılan tezler ele alınarak, Ulusal Tez Merkezi üzerinde aratılıp, bilgilerine ulaşılabilen yüksek lisans, doktora, tıpta uzmanlık tezlerini içeren 589 adet lisansüstü tezin incelemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu lisansüstü tez inceleme çalışmasında, lisansüstü tez türleri açısından lisansüstü tez sayılarının yıllara göre dağılımı, anabilim dalları açısından dağılımı, enstitü açısından dağılımı, lisansüstü tezlerin yapıldıkları üniversiteler açısından dağılımı, lisansüstü tez yapılırken hangi yalın üretim aracından ve

hangi paket programdan yararlanıldığı ve lisansüstü tezin hangi sektör içerisinde uygulandığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yalın üretim ve ilgili araçlara dair yapılan lisansüstü tezlerin kapsamlı bir analizi sunulmuştur. Elde edilen bulgular, yalın üretim uygulamalarının farklı sektörlerdeki yaygınlığını ve tercih edilen araçları ortaya koyarken, yazılım, enerji, savunma ve havacılık sektörü gibi bazı alanlarda sınırlı sayıda çalışmanın varlığı, bu alanlarda araştırma gerekliliğine işaret etmektedir. Özellikle dijital dönüşüm, yeşil dönüşüm ve ergonomi ile yalın üretim uygulamaları, gelecekteki çalışmalar için yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler sunabilecek potansiyele sahiptir. Çalışmanın bulguları, yalın üretim uygulamalarının işletmelerde verimliliği artırma ve israfı azaltma noktasında sağladığı katkılara ışık tutarak, gelecekteki araştırmalarda sektörler için özel stratejilerin geliştirilmesine yön verebilir niteliktedir. Kuruluşlar ve organizasyonlar için, yalın üretimi aktif ve düzenli şekilde uygulayabilmek oldukça önemlidir ve rakiplerine karşı her zaman önde olmalarını sağlayacak bir unsur haline gelmiştir. Yalın üretimi aktif ve düzenli şekilde uygulayabilen firmalar, israflarını minimum seviyeye indirecek kapasiteye sahip verimlilik odaklı kuruluşlar haline gelebilir. Bu çalışma genel itibarıyla, yalın üretim ve yalın üretimin araçları ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin genel çerçevesini ortaya koymak ve gelecekte yalın üretim ile ilgili lisansüstü tez yapacak araştırmacılar için bir ışık tutması için hazırlanmıştır. Ayrıca, yalın üretim ve yalın üretim araçları ile ilgili en geniş kapsamlı tez inceleme çalışması olma özelliği ile de önemli bilgiler içermektedir. Bu yönüyle çalışma, Türkiye’de yalın üretim alanındaki akademik çalışmaların mevcut durumunu ortaya koyarak bu alandaki literatürde eksik kalan geniş ölçekli analiz ihtiyacını karşılamaktadır. Farklı ülkelerdeki tezlerde incelenerek çalışma kapsamı genişletilebilir. Ayrıca; Scopus, Google Scholar, Microsoft Academic, Web of Science ve diğer indekslerin eklenmesiyle gelecekte bu konu üzerine yapılacak çalışmalara öneri olarak sunulabilir.

Bulgular ışığında, Türkiye’deki yalın üretim uygulamalarının yazılım sektörü gibi dijital dönüşüm gerektiren alanlarda henüz sınırlı sayıda araştırmaya sahip olduğu görülmektedir. Bu hususta çalışmalar yürütülmesi, dijital dönüşüm, yeşil dönüşüm ve ergonomi gibi çağdaş kavramların yalın üretim ile entegre edilmesi ile mümkün olabilir. Bu doğrultuda, gelecekteki lisansüstü tezlerde, teknolojinin gelişimine paralel olarak dijital dönüşüm ile yalın üretim entegrasyonuna yönelik daha fazla çalışmanın yapılması önerilmektedir. Yalın üretim uygulamalarının temelinde yer alan süreçlerin analizi ve buralardan elde edilecek verilerin, yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi tekniklerle yorumlanması, süreçleri daha katma değerli hale getirebilecektir. Ayrıca, yalın üretim uygulamalarının farklı sektörlerdeki etkisinin derinlemesine incelenmesi, israfların azaltılmasıyla birlikte sektörel farkındalık ve strateji geliştirme açısından değerli katkılar sunacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Aloğlu N., Mert İS. Yalın Sağlık Akademisyen Kitabevi 2022; 29-30.

Arslan T. Yalın üretimin tedarik performansı üzerine etkisinde tedarik zinciri ilişkisinin aracı rolü: imalat işletmeleri üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzincan, 2022.

Bayar M. Türkiye’de problem çözmeyi geliştirmeye yönelik ilkokul düzeyindeki lisansüstü tezlerin sistematik incelenmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi; 21(4): 353-368.

Biçen ÖF., Sezgin H. Finansal oranların firma değeri üzerindeki etkileri: borsa istanbul bilişim sektörüne yönelik bir panel veri analizi. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi 2017; 15(3): 25-41.

Cantaş F., Yalçın S., Çil İ. 1991-2015 yılları arasında yalın üretim alanında yayımlanmış makale çalışmalarının literatür taraması ve içerik analizi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Kongresi 2017; 1694-1701.

Çilingir A. İletişim alanında içerik analizi yöntemi kullanılarak yapılan yüksek lisans ve doktora tezleri üzerine bir inceleme. Erciyes İletişim Dergisi 2017; 5(1): 148-160.

Demir C. Tam zamanında üretim ve otomotiv sektöründe kanban uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.

Doğan N., Yağlı ŞB. Sağlık sektöründe yalın düşünce: Bir literatür derlemesi. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 2019; 22(2): 467-490.

Efe B., Efe Ö. An application of value analysis for lean healthcare management in an emergency department. International Journal of Computational Intelligence Systems 2016; 9(4): 689-697.

Efe ÖF., Engin O. Yalın hizmet-değer akış haritalama ve bir acil serviste uygulama. Verimlilik Dergisi 2012; 4: 79-107.

Erdem C. Medya okuryazarlığı araştırmalarında eğilimler: lisansüstü tezlere yönelik bir içerik analizi. Kuramsal Eğitimbilim Dergisi 2018; 11(4): 693-717.

Ersöz T., Sarız K., Ersöz F. Demir-çelik üretim hattında yalın üretim. Düzce Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020; 8: 801-826.

Gerçek M., Zığaloğlu D. Türkiye’de iş biçimlendirme (Job Crafting) çalışmaları: Lisansüstü tezlere yönelik bir inceleme. Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi 2023; 10(2): 443-468.

Karakuş S. Türkiye’de sosyal bilgiler eğitiminde kavramlar konusunda yapılan yüksek lisans ve doktora tezlerinin incelenmesi. Academia Eğitim Araştırmaları Dergisi 2020; 5(1): 61-76.

Kaya A. Sağlık kurumlarında hizmet kalitesi ve tam zamanında üretim (JIT) arasındaki ilişkinin incelenmesi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ufuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2020.

- Kaya M., Avşar, A. Yabancı dil olarak türkçe öğretiminde metin sadeleştirme üzerine yapılan çalışmalar üzerine bir inceleme. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2024; 26(2): 476-492.
- Mutlu NG., Altuntaş S. Türkiye’de 1974-2016 yıllarında iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan lisansüstü tezlerin profili. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 2017; 7(2): 509-535.
- Öztürk ST. Altı sigma ve işletmelerin altı sigma’dan kaçınma sebepleri. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas, 2012.
- Silvestri L., Gallo T., Silvestri C. Which tools are needed to implement lean production in an industry 4.0 environment? a literature review. Procedia Computer Science 2022; 1766-1777.
- Tekerci H. Okul öncesi dönemde bilimsel süreç becerilerine yönelik lisansüstü tezler: Bir inceleme çalışması. Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi 2023; 5(3): 868-886.
- Terci A., Bindak R. 2010-2017 yılları arasında Türkiye’de matematik eğitimi alanında yapılan lisansüstü tezlerin incelenmesi. MSKU Eğitim Fakültesi Dergisi 2017; 6(1): 40-55.
- Terzi S., Atmaca M. Yalın üretim sistemi açısından değer akış maliyetlemesinin incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2011; 16(3): 449-466.
- Tosuntaş ŞB., Emirtekin E., Süral İ. Eğitim ve öğretim teknolojileri konusunda yapılan tezlerin incelenmesi (2013-2018). Yükseköğretim ve Bilim Dergisi 2018; 9(2): 277-286.
- Turan H., Turan G. Sağlık sisteminde yalın üretim uygulamaları. Sağlık Akademisyenleri Dergisi 2015; 2(3): 127-132.
- Türkan ÖU. Üretimde yalın dönüşümün temel performans kriterleri. BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2010; 12(2): 28-41.
- Ulugüner A. Kaizen yaklaşımı ile işletmelerde süreç iyileştirme ve bir uygulama örneği. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana, 2021.
- Uslu HC. Yalın üretim teknikleri ve karşılaşılan problemler. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2022.
- Yaşar Ç., Yaşar G. Türkiye’de 2010-2022 yılları arasında sanal zorbalık alanında yayınlanan lisansüstü tez çalışmalarının bibliyografik analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(4): 1933-1947
- Yaylagül F. Hata önlemede poka yoke yöntemi: İş sağlığı ve güvenliği açısından bir işletmede uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya, 2021.
- Yıldız S., Yalman F. Sağlık işletmelerinde yalın uygulamalar üzerine bir literatür taraması. Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi 2015; 1(1): 5-16.
- Yılmaz E. Siparişe göre üretim yapan sistemlerde yalın üretim uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.

Çalışmaya Ait Ek Tablolar

Tablo 8. Lisansüstü Tezlerin Uygulandığı Anabilim Dalına Göre Dağılımı

Anabilim Dalı	Frekans (Yüksek Lisans – Doktora – Tıpta Uzmanlık)		
İşletme	192	32	0
Endüstri Mühendisliği	182	12	0
Toplam Kalite Yönetimi	19	0	0
Makine Mühendisliği	11	0	0
İşletme Mühendisliği	10	0	0
Ekonometri	9	1	0
İstatistik	7	3	0
İşletme Yönetimi	8	0	0
Tekstil Mühendisliği	6	1	0
Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri	4	2	0
Üretim Yönetimi	4	1	0
Tıbbi Biyokimya	0	0	5
Orman Endüstri Mühendisliği	3	1	0
Makine Eğitimi	2	1	0
Tedarik Zinciri Yönetimi ve Lojistik Yönetimi	3	0	0
Kalite Mühendisliği	3	0	0
Mimarlık	3	0	0
Turizm İşletmeciliği	2	0	0
Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği	2	0	0
Beden Eğitimi ve Spor	0	2	0
Giyim Endüstrisi ve Giyim Sanatları	1	1	0
Havacılık Yönetimi	2	0	0
İnşaat Mühendisliği	1	1	0
Kamu Yönetimi	2	0	0
Lojistik Mühendisliği	2	0	0
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	2	0	0
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2	0	0
İmalat Mühendisliği	2	0	0
Muhasebe ve Finansman	1	1	0
Tarım Ekonomisi	0	2	0
İş Sağlığı ve Güvenliği	1	1	0
Turizm İşletmeciliği	2	0	0
Bilim ve Teknoloji Politikası Çalışmaları	1	0	0
Biyokimya	0	0	1
Biyomedikal Mühendisliği	1	0	0
Çevre Mühendisliği	1	0	0
Eğitim Bilimleri	1	0	0
Farmasötik Teknoloji	0	1	0
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri	1	0	0
Gıda Mühendisliği	1	0	0
Halkla İlişkiler ve Tanıtım	0	1	0
Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları	0	1	0
İktisadi ve İdari	1	0	0
İktisat	1	0	0

Tablo 8. Lisansüstü Tezlerin Uygulandığı Anabilim Dalına Göre Dağılımı (Devam)

Anabilim Dalı	Frekans (Yüksek Lisans – Doktora – Tıpta Uzmanlık)
İleri Teknolojiler	1 – 0 – 0
Kimya Mühendisliği	1 – 0 – 0
Malzeme Mühendisliği	1 – 0 – 0
Metal Eğitimi	1 – 0 – 0
Mühendislik Sist. Modellenmesi Tasarımı	0 – 1 – 0
Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi	1 – 0 – 0
Otomotiv Mühendisliği	1 – 0 – 0
Sağlık Kalite Yönetimi	1 – 0 – 0
Sağlık Kurumları İşletmeciliği	1 – 0 – 0
Sağlık Kurumları Yönetimi	0 – 1 – 0
Sayısal Yöntemler	1 – 0 – 0
Teknoloji Eğitimi	1 – 0 – 0
Tekstil Eğitimi	0 – 1 – 0
Tıbbi Biyokimya	1 – 0 – 0
Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik	0 – 1 – 0
Uluslararası Lojistik Yönetimi	1 – 0 – 0
Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi	1 – 0 – 0
Uygulamalı İstatistik	1 – 0 – 0
Üretim Yönetimi ve Endüstri İşletmeciliği	1 – 0 – 0
Yönetim ve Organizasyon	0 – 1 – 0
Yöneylem Araştırması	1 – 0 – 0
Gastronomi ve Mutfak Sanatları	1 – 0 – 0
İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı	1 – 0 – 0
Zootekni	1 – 0 – 0

Tablo 9. Lisansüstü Tezlerin Uygulandığı Enstitüye Göre Dağılımı

Enstitü	Frekans (Yüksek Lisans – Doktora – Tıpta Uzmanlık)
Sosyal Bilimler	235 – 39 – 0
Fen Bilimleri	245 – 22 – 0
Lisansüstü Eğitim	23 – 3 – 0
Sağlık Bilimleri	2 – 5 – 0
Tıp Fakültesi	0 – 0 – 5
Eğitim Bilimleri Enstitüsü	1 – 1 – 0
Deniz Bilimleri ve Mühendisliği	2 – 0 – 0
Ankara Türkiye Yüksek İhtisas Eğt. ve Ar. Hastanesi	0 – 0 – 1
Biyomedikal Mühendislik	1 – 0 – 0
İşletme	1 – 0 – 0
Mühendislik ve Fen Bilimleri	1 – 0 – 0
The Graduate School of Natural and Applied Sciences	1 – 0 – 0
Ekonomi ve Sosyal Bilimler Enstitüsü	1 – 0 – 0

Tablo 10. Lisansüstü Tezlerin Uygulandığı Üniversiteye Göre Dağılımı

Üniversite	Frekans (Yüksek Lisans – Doktora – Tıpta Uzmanlık)
Dokuz Eylül Ü.	59 – 8 – 0
İstanbul Teknik Ü.	55 – 9 – 0
Gazi Ü.	41 – 5 – 0
Marmara Ü.	35 – 1 – 0
Sakarya Ü.	28 – 0 – 0
Uludağ Ü.	22 – 4 – 0
Kocaeli Ü.	19 – 2 – 0
Selçuk Ü.	13 – 4 – 0
İstanbul Ü.	12 – 2 – 0
Çukurova Ü.	9 – 3 – 1
Yıldız Teknik Ü.	12 – 1 – 0
Bahçeşehir Ü.	10 – 0 – 0
Ege Ü.	6 – 4 – 0
ODTÜ	9 – 1 – 0
Eskişehir O. Ü.	8 – 0 – 0
Boğaziçi Ü.	8 – 0 – 0
Anadolu Ü.	5 – 2 – 0
Kahramanmaraş S. İ. Ü.	6 – 0 – 1
Beykent Ü.	6 – 0 – 0
Süleyman Demirel Ü.	5 – 1 – 0
Hacettepe Ü.	6 – 0 – 0
Adnan Menderes Ü.	3 – 2 – 0
Erciyes Ü.	3 – 2 – 0
Gebze Y. T. Ü.	5 – 0 – 0
Celal Bayar Ü.	5 – 0 – 0
İnönü Ü.	3 – 2 – 0
Maltepe Ü.	4 – 0 – 0
Cumhuriyet Ü.	4 – 0 – 0
Tokat G. Ü.	4 – 0 – 0
Okan Ü.	2 – 2 – 0
Dumlupınar Ü.	4 – 0 – 0
Pamukkale Ü.	3 – 0 – 1
Atatürk Ü.	0 – 4 – 0
Karabük Ü.	2 – 1 – 0
Düzce Ü.	3 – 0 – 0
Ankara H. B. V. Ü.	3 – 0 – 0
Trakya Ü.	2 – 0 – 1
Çanakkale On sekiz Mart Ü.	3 – 0 – 0
Atılım Ü.	1 – 2 – 0
Fatih Ü.	3 – 0 – 0
İstanbul Ticaret Ü.	3 – 0 – 0
Galatasaray Ü.	3 – 0 – 0
Yalova Ü.	3 – 0 – 0
Gebze Teknik Ü.	3 – 0 – 0
Manisa C. B. Ü.	2 – 0 – 1
Başkent Ü.	3 – 0 – 0

Tablo 10. Lisansüstü Tezlerin Uygulandığı Üniversiteye Göre Dağılımı (Devam)

Üniversite	Frekans (Yüksek Lisans – Doktora – Tıpta Uzmanlık)
İstanbul Kültür Ü.	3 – 0 – 0
Kadir Has Ü.	3 – 0 – 0
Abdullah Gül Ü.	2 – 0 – 0
Ankara Ü.	1 – 1 – 0
Fırat Ü.	1 – 1 – 0
Mustafa Kemal Ü.	2 – 0 – 0
Yaşar Ü.	2 – 0 – 0
Deniz Harp O. K.	2 – 0 – 0
Balıkesir Ü.	2 – 0 – 0
İzmir K. Ç. Ü.	2 – 0 – 0
Karamanoğlu M. Ü.	2 – 0 – 0
Haliç Ü.	1 – 1 – 0
Harran Ü.	2 – 0 – 0
Bilkent Ü.	2 – 0 – 0
İstanbul Arel Ü.	2 – 0 – 0
Türk Hava Kurumu Ü.	1 – 0 – 0
Nuh N. Y. Ü.	1 – 0 – 0
Kafkas Ü.	1 – 0 – 0
Doğuş Ü.	1 – 0 – 0
Alanya A. K. Ü.	1 – 0 – 0
Nevşehir H. B. Veli Ü.	0 – 1 – 0
Çankaya Ü.	1 – 0 – 0
Sağlık Bilimleri Ü.	0 – 0 – 1
Hatay M. K. Ü.	1 – 0 – 0
Bingöl Ü.	1 – 0 – 0
Işık Ü.	1 – 0 – 0
Adana A. T. B. ve T. Ü.	1 – 0 – 0
Zonguldak K. Ü.	1 – 0 – 0
Niğde Ü.	1 – 0 – 0
Bartın Ü.	1 – 0 – 0
Gaziantep Ü.	1 – 0 – 0
Adıyaman Ü.	1 – 0 – 0
Osmaniye K. A. Ü.	0 – 1 – 0
İskenderun Teknik Ü.	1 – 0 – 0
Recep Tayyip Erdoğan Ü.	1 – 0 – 0
Çağ Ü.	1 – 0 – 0
Mehmet Akif Ersoy Ü.	1 – 0 – 0
Akdeniz Ü.	0 – 1 – 0
Muğla S. K. Ü.	1 – 0 – 0
Erzincan B. Y. Ü.	1 – 0 – 0
Ufuk Ü.	1 – 0 – 0
Namık Kemal Ü.	1 – 0 – 0
Kırıkkale Üniversitesi	1 – 0 – 0
Necmettin Erbakan Ü.	1 – 0 – 0
Türk Hava Kurumu Ü.	1 – 0 – 0

Tablo 10. Lisansüstü Tezlerin Uygulandığı Üniversiteye Göre Dağılımı (Devam)

Üniversite	Frekans (Yüksek Lisans – Doktora – Tıpta Uzmanlık)
Aksaray Ü.	0 – 1 – 0
Necmettin Erbakan Ü.	1 – 0 – 0
Yeditepe Ü.	1 – 0 – 0
Kırıkkale Ü.	1 – 0 – 0
Zonguldak B. E. Ü.	1 – 0 – 0
Kırşehir Ahi Evran Ü.	1 – 0 – 0
Altınbaş Ü.	1 – 0 – 0
Konya Teknik Ü.	1 – 0 – 0
Muğla Sıtkı Koçman Ü.	1 – 0 – 0
Mimar Sinan. G. S. Ü.	1 – 0 – 0
Ordu Ü.	1 – 0 – 0
Tarsus Ü	1 – 0 – 0
Yeditepe Ü.	1 – 0 – 0
Artvin Çoruh Ü.	1 – 0 – 0
Manisa C. B. Ü.	1 – 0 – 0
Altınbaş Ü.	1 – 0 – 0
Aksaray Ü.	0 – 1 – 0
Konya Teknik Ü.	1 – 0 – 0
Van Y. Y. Ü.	1 – 0 – 0
Kırşehir A. E. Ü.	1 – 0 – 0
İstanbul Aydın Ü.	1 – 0 – 0

Salgımlar Neden Dalgalar Halinde İlerler?

Ayşe PEKER DOBIE¹, Semra AHMETOLAN², Ayşe Hümeýra BİLGE³, Ali DEMİRCİ^{4*}

^{1,2,4} İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen- Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul

³ Kadir Has Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0002-5228-7694>

²<https://orcid.org/0000-0003-1003-7918>

³<https://orcid.org/0000-0002-6043-0833>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-9780-0132>

*Sorumlu yazar: demircial@itu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 31.07.2024

Kabul tarihi: 30.01.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

İspanyol gribi

COVID-19

Epidemi dalgaları

SIR modeli

Temel üreme sayısı

Temas oranı

ÖZ

“İspanyol Gribi” salgınının, 1918-1919 yılları arasında, 18 ay süre içinde, üç dalga şeklinde ilerlediği bilinmektedir. Benzer şekilde COVID-19 pandemisi de 2019-2021 yılları arasında dalgalar halinde yayılım karakteri göstermiş olup, bu salgın için virüs varyantlarına dair veriler detaylı bir şekilde belgelenmiştir. Bu çalışmada, bu iki pandemiye ait veriler ışığında, birden fazla salgın dalgasının ortaya çıkmasına neden olan faktörler, Korunmasız (S)-Enfekte (I)-Bulaşıcı Olmayan (R), (SIR) salgın modeli temel alınarak incelenmiştir. Bu faktörler arasında; mevsimsel değişiklikler, kontrol önlemlerinin gevşetilmesi ve yeni varyantlar öne çıkmaktadır. Yeni bir varyantın ortaya çıkması yeni bir salgın olarak değerlendirilebilmektedir. Bir salgın dalgasının sona ermesiyle, kısıtlayıcı tedbirlerin gevşetilmesi, önceden korunan bireylerin yeniden Korunmasız (S) grubuna dahil olmasına neden olabilmektedir. Kısıtlamaların kaldırılması ayrıca, toplum içerisindeki etkileşimlerin artmasına ve virüsün bulaşma oranını ifade eden temel üreme sayısının (R_0) yükselmesine etki edebilmektedir. SIR modeli kullanılarak bu çalışma kapsamında yapılan simülasyonlar sonucunda, yayılma davranışını belirleyen etmenler içerisinde yeni bir varyantın ortaya çıkışının baskın faktör olduğu değerlendirilmiştir.

Why Do Epidemics Evolve in Waves?

Research Article

Article History:

Received: 31.07.2024

Accepted: 30.01.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Spanish flu

COVID-19

Epidemic waves

SIR model

Basic reproduction number

Contact rate

ABSTRACT

Multiple epidemic waves have been observed during the “Spanish Flu” (1918-1919) and the COVID-19 (2019-2021) pandemics. The “Spanish Flu” pandemic, characterized by the H1N1 viral strain, was a severe and well-documented pandemic that manifested itself in three distinct epidemic waves spanning a period of 18 months. The COVID-19 pandemic has also been characterized by multiple epidemic waves and its data also include information on the variants of the ancestor virus. In this study, potential factors contributing to the occurrence of multiple waves are discussed by employing the Susceptible- Infected- Removed SIR model. These factors may include seasonality effects and relaxation of control measures. The introduction of a new variant of a pathogen can initiate a new wave, representing a distinct epidemic event. Also, at the end of an epidemic wave, the relaxation of restrictions allows previously protected individuals to re-enter the susceptible population, leading to an increase in susceptible individuals (S). Finally, the easing of restrictions promotes higher interconnections within the susceptible population, increasing the basic reproduction number (R_0). By observing the

simulations using the Susceptible-Infected-Removed model, we can conclude that the introduction of a new variant seems to be more dominant among causes leading to a new wave.

To Cite: Peker Dobie A., Ahmetolan S., Bilge AH., Demirci A. Why Do Epidemics Evolve in Waves. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 929-941.

1. Introduction

The Susceptible-Infected-Removed (SIR) and Susceptible-Exposed-Infected-Removed (SEIR) models, initially proposed by Kermack and McKendrick (Kermack and McKendrick, 1927; Hethcote, 1976) in 1927, serve as mathematical frameworks to describe the spread of epidemics within a population. In these models, individuals are categorized into different compartments based on their susceptibility to the disease and their infectivity status. The SIR model consists of three compartments: Susceptible (S), Infected (I), and Removed (R), representing individuals without immunity, infected individuals capable of transmitting the disease to group S with recovery after a period T, and individuals who have either recovered with permanent immunity or died, respectively. The SEIR model expands upon the SIR model by introducing an additional Exposed (E) compartment, which represents individuals in the incubation period of the disease before becoming infectious, with duration T_E . The differential equations governing the models defined by equations (1) and (2), respectively, describe the rates of change for each compartment over time

$$S' = -\beta SI, \quad I' = \beta SI - \eta I, \quad R' = \eta I, \quad (1)$$

$$S' = -\beta SI, \quad E' = \beta SI - \varepsilon E, \quad I' = \varepsilon E - \eta I, \quad R' = \eta I. \quad (2)$$

Here, β is the transmission coefficient, η represents the recovery rate which is the inverse of the infection period T, and ε , the inverse of the incubation period T_E represents the rate of progression from the exposed state to the infected state. These models provide a simplified representation of epidemic dynamics, and can be useful in analyzing and predicting the spread of diseases within populations based on various epidemiological parameters.

In both models, the ratio β/η is referred to as the Basic Reproduction Number denoted by R_0 . The Basic Reproduction Number serves as a crucial parameter that determines the final proportion of removed individuals, R_f , thereby influencing the overall burden of an epidemic. R_0 is the product of the contact rate, the virus's virulence and the duration of the infectious period. Variants with different virulence and infection periods, as well as seasonality effects and behavioral changes, can lead to variations in R_0 . However, barring such changes, it remains constant.

Childhood diseases are typical examples of epidemics obeying SIR models with population dynamics. These models allow almost periodic wave structures, attributed to the integration of newborns into the susceptible population. In the absence of population dynamics, the solutions of the basic SIR and SEIR models (equations (1) and (2), respectively) exhibit a singular wave of epidemic outbreaks. For seasonal influenza types of diseases, as the duration of the epidemic is relatively short compared to the timespan of population dynamics, models assuming a constant population provide valid insights in such cases.

Any disease conferring permanent immunity without population dynamics would ordinarily result in a single epidemic wave. Nevertheless, major historical pandemics have been characterized by a succession of waves. In models characterized by constant parameters and the absence of population dynamics, the emergence of a new epidemic wave may be ascribed to various factors such as the appearance of a novel variant, an upsurge in the susceptible population, or an increase in the Basic Reproduction Number, as examined in section 2. We explore the effects of changes in these parameters in section 3 by simulating scenarios involving increases in the number of susceptible individuals and increases in R_0 . The outcomes of these simulations reveal that the appearance of a new wave requires substantial increments in either of these parameters, thereby suggesting that the resurgence of a new wave is more likely to be triggered by the appearance of a novel variant.

Multiple epidemic waves have been discerned during the “Spanish Flu” (1918-1919) and the ongoing COVID-19 (2019-2021) pandemics. The “Spanish Flu” pandemic (Taubenberger and Morens, 2006), characterized by the H1N1 viral strain, was a severe and well-documented pandemic that manifested itself in three distinct epidemic waves spanning 18 months. Conversely, the H1N1 influenza pandemic of 2009 exhibited a predominantly unimodal pattern (Tizzoni et al., 2012) between October 2009 and May 2010, if one excludes the initial propagation observed during the summer of 2009. Furthermore, a multi-wave pattern has also been observed in the spread of COVID-19 from 2019 to 2022 (Xu et al., 2020; Lengfeld, 2021; Ghosh and Ghosh, 2022; Singh and Gupta, 2022; Perakis et al., 2023).

Below, we review recent works on the underlying mechanisms for manifesting multiple epidemic waves. Within a study (Perakis et al., 2023), a comprehensive investigation was undertaken to explore the influence of regulations and alterations in human behavior on the inception of epidemic waves for COVID-19. Employing a model characterized by piecewise constant parameters, the authors sought to construct a stochastic framework for discerning the temporal transitions, with the primary objective of identifying the emergence of an epidemic wave from data.

In another research (Ghosh and Ghosh, 2022) the authors consider the potential loss of immunity after a time delay and the emergence of new variants to investigate the occurrence of multiple waves of COVID-19 in India. It should be noted that it is important to differentiate between the loss of immunity to a specific strain and the emergence of a new variant as a distinct strain. The latter scenario corresponds to seasonal epidemics, such as those observed annually for influenza, which are attributed to the appearance of novel strains. In contrast, diseases like malaria adhere to the Susceptible-Infected-Susceptible (SIS) model, where individuals regain susceptibility at the end of the infectious period. We note that the SIS model yields a series of periodic waves with the same amplitude, thus it is inappropriate for explaining the succession of multiple waves with diminishing amplitudes, as observed in historical epidemics.

The phenomenon of partial loss of immunity has been investigated in the context of COVID-19, particularly data from Wuhan, China (Langfeld, 2021), until April 2020. The model employed in this study demonstrates agreement with the observed data but does not account for the potential impact of

new variants. In a separate investigation (Xu et. al., 2020) multiple outbreaks are examined, incorporating heterogeneities in the pathogen, host characteristics, and environmental conditions. This research highlights the possibility of multiple waves based on these variabilities. Similarly, Singh and Gupta adopt an SIR model with variable parameters to capture the data about distinct waves (Singh and Gupta, 2022). In contrast, our approach follows a different trajectory, employing the SIR model with constant parameters but over shorter time periods, aligning more closely with the study in (Perakis et. al., 2023).

2. Material and Methods

In this section, we discuss potential factors contributing to the occurrence of multiple waves by employing the SIR model as a framework to investigate the effects of changes in the parameters. To observe these effects, the SIR model (1) is numerically solved using the fourth order Runge- Kutta method with appropriate initial conditions. Corresponding results are presented in Figures 2-4, accompanied by the necessary discussions. Furthermore, we present simulations aimed at quantifying these effects. The emergence of successive waves can be explained through the following arguments:

1) Novel variant: The introduction of a novel variant may give rise to a new wave, effectively representing a distinct epidemic event. In technical terms, individuals in the R compartment should be transferred to the S department; without any change in the total population size.

2) Increase in S and in the total population size: Following the culmination of an epidemic wave, the relaxation of restrictions allows individuals who diligently safeguarded themselves and thus were not part of the susceptible population to re-enter this category. Consequently, the susceptible population S experiences an increase that increases the total population size.

3) Increase in R_0 with constant population size: Upon the conclusion of an epidemic wave, the easing of restrictions facilitates heightened interconnections within the susceptible population. As a result, the contact rate and hence R_0 increase, while the total population size remains constant.

We will now discuss conditions ensuring resurging of a new epidemic wave, based on arguments 1-3.

We recall that in equation (1), the sum of the right-hand sides is zero, hence we can assume $S(t)+I(t)+R(t)=1$. As time goes to infinity, $I(t)$ approaches zero, hence we may state that the final value of I is zero, and the final values of S and R, denoted by S_f and R_f satisfy the relation $S_f = 1 - R_f$.

Then, from equation (1), we use the chain rule and normalization conditions, and obtain the relation below between R_0 and the final values R_f and S_f

$$R_0 = -\frac{\ln(1 - R_f)}{R_f} = -\frac{\ln S_f}{1 - S_f}. \quad (3)$$

We use the relation above to plot R_f as a function of R_0 in Figure 1 where blue and green curves represent respectively the final proportion of susceptible individuals, S_f , and the proportion of susceptible individuals at the peak of the epidemic wave, S_m .

We note that the evaluation of S_f from equation (3) is a numerical procedure. For example, when R_0 equals 2, then S_f is determined as 0.203. On the other hand, S_m is expressed in terms of R_0 as $S_m = 1/R_0$, because $I(t)$ attains its maximum when its derivative is zero, corresponding to $S_m = \eta/\beta$ if $S(t)$ lies above the curve $S_m(R_0)$, then $I(t)$ is increasing; otherwise it is decreasing. In the falling phase of the epidemic, $S(t)$ lies between the blue and green curves. Therefore, if we expect a resurgence of a new wave at the falling phase of an epidemic, the pair (R_0, S) should move above the green curve $S_m(R_0)$. This can be achieved by an increase in R_0 , or in S , or both.

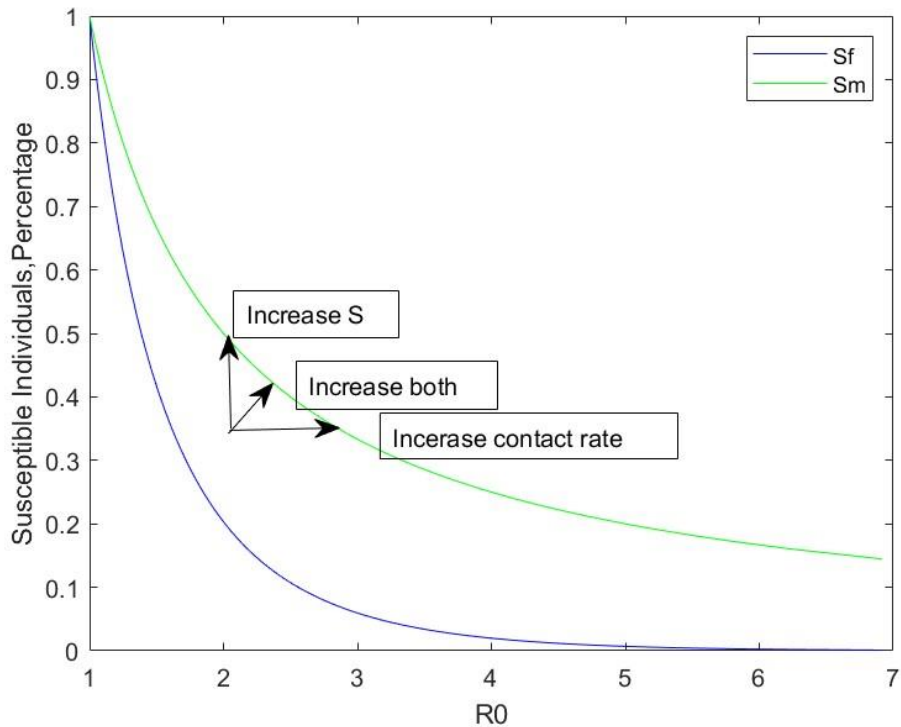


Figure 1. S_f as a function of R_0 (blue curve) and S_m as a function of R_0 (green curve).

We will now discuss the dynamics of the appearance of a new wave due to the causes 1-3.

-Case 1, Novel Variant: If a new variant emerges while the total population size remains constant (case 1), the proportion of susceptible individuals can potentially rise to 1. Furthermore, if R_0 for each new variant is the same, we would have a succession of epidemic waves with equal amplitude. If R_0 for successive variants decreases or increases, we expect a similar behavior in the amplitude of the epidemic waves.

A decrease in the amplitude of upcoming waves may also be due to the following fact: it is possible that some individuals who previously contracted the disease and acquired immunity during the initial wave exhibit some level of protection against the new strain. Consequently, a certain proportion of the individuals in the R department may have immunity to the new strain, and the proportion of susceptible individuals is lower at the beginning of the appearance of the new strain. Thus, despite the immunity acquired during the initial wave, if the sudden increase in $S(t)$ is substantial enough to move (R_0, S)

above the $S_m(R_0)$ curve, it would lead to a new wave. We illustrate this situation in Figure 2, where $R_0=1.5$ for both variants, the infection period T is 10, and it is assumed that 20% of the removed individuals still have immunity with respect to the new variant.

-Case 2, Increase in S and in the total population size: Even without the introduction of a new variant, the occurrence of a new epidemic wave is still possible if the proportion of susceptible individuals exceeds the threshold value $S_m = 1/R_0$, either due to an increase in R_0 or in S . An alternative scenario (case 2) entails an increase in the proportion of susceptible individuals following the cessation of an epidemic wave. This phenomenon may transpire when a specific fraction of the population, previously adhering to stringent isolation measures, discontinues their isolation and consequently transitions into the susceptible group. This leads to a vertical shift of a point on the blue curve, up towards the $1/R_0$ curve. Once again, if the change is substantial enough to end up to the left of the $1/R_0$ curve, it instigates the onset of a fresh epidemic wave.

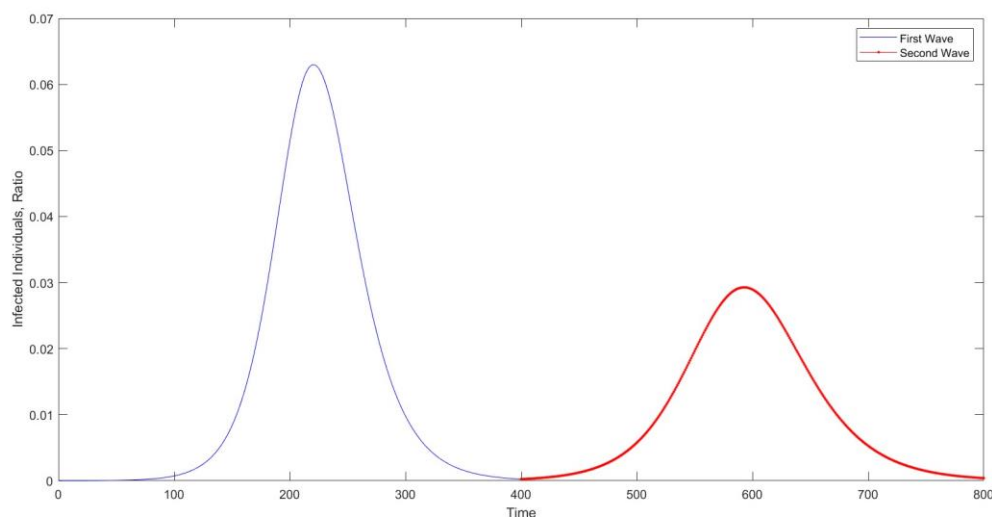


Figure 2. Resurge of a new epidemic wave by the introduction of a new variant, when $R_0=1.5$ for both variants and $T=10$. 20% of the removed individuals is assumed to have immunity with respect to the new variant.

In Figure 3, we present simulations for case 2 with typical parameter values. We consider the cases where $R_0=1.5$ and $R_0=2$. The ratio of the total population that has safeguarded themselves at the initial phase is taken as $2/3$ and $1/2$. In simulations, these people are added to the S group at the end of the first wave.

Even though we observe a second wave for each case, it is significant only in the extreme case where $2/3$ of the population has been in strict confinement during the whole duration of the first wave.

-Case 3, Increase in R_0 with constant population size: We recall that R_0 is the product of the virulence of the infection (v), the duration of the infectious period (T) and the contact rate (C), i.e.,

$$R_0 = v T C. \tag{4}$$

While v and T are invariant in the absence of mutations, the contact rate may change. A rise in the contact rate, thus increasing R_0 (**case 3**), horizontally shifts a point along the blue curve towards the green curve. If the increase in the contact rate is substantial enough to position the point to the right of the $1/R_0$ curve (green curve), then the slope of $I(t)$ becomes positive, signaling the initiation of a new epidemic.

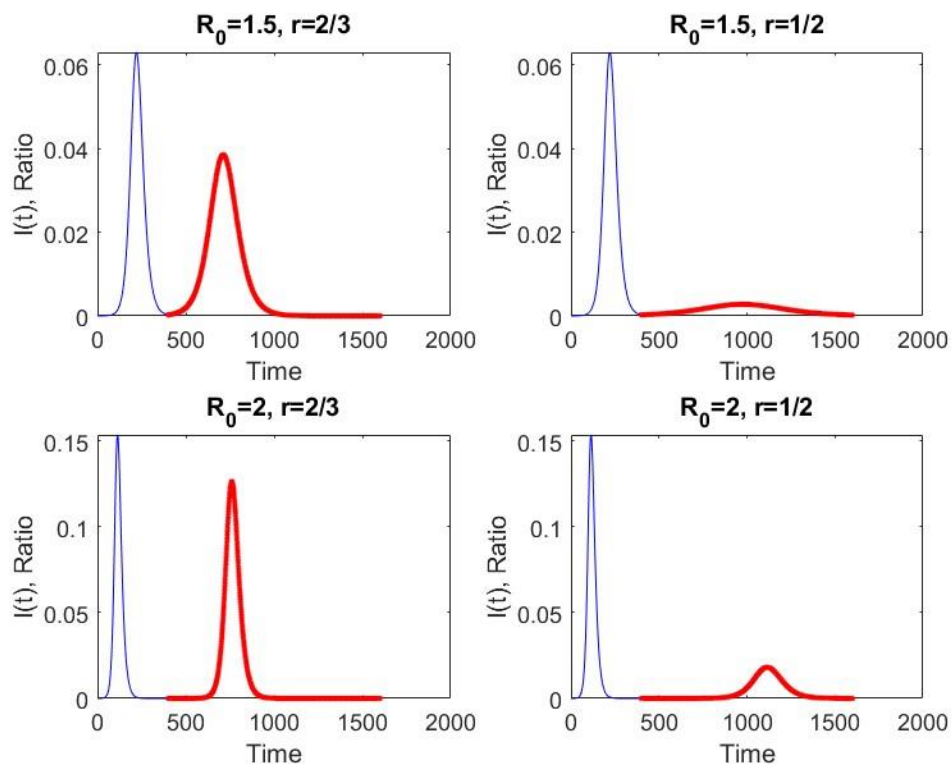


Figure 3. First and second waves corresponding to cases where proportions $r=2/3$ and $r=1/2$ of the population have safeguarded themselves during the first wave, for $R_0=1.5$ and $R_0=2$.

In Figure 4, we present typical situations corresponding to an increase in R_0 at a time at which the rate of change of the number of infectious individuals starts decreasing. This corresponds to release of restrictions towards the end of the epidemic wave and to a possible increase in the contact rate.

In Figure 4, we selected parameter values that lead to an observable second wave. For example, for $R_0=2$, initially, increases to 2.5 and 3.0 didn't result in a new wave. Furthermore, increases in R_0 chosen as 0.5 and 1 may not be realized by an increase in the contact rate in realistic situations.

We note that if the end of the epidemic wave coincides with the beginning of summer, the increase in the contact rate may be compensated by the decreased virulence, and there is no new wave. But if it ends at the beginning of the new flu season unless strict restrictions are imposed, a new wave can appear, even in the absence of a new variant.

3. Results and Discussion

The occurrence of multiple waves is a prominent characteristic observed in pandemics, including historical events such as the Spanish Flu and more recent outbreaks like the COVID-19 pandemic. Numerous studies (Xu et al., 2020; Lengfeld, 2021; Ghosh and Ghosh, 2022; Singh and Gupta, 2022; Perakis et al., 2023) have endeavored to elucidate the underlying factors contributing to the existence of multiple waves. In this section, we conduct a comprehensive literature review to examine the observations and findings pertaining to the occurrence of multiple waves in the Spanish flu pandemic of 1918, a notable example of a pandemic characterized by multiple waves that swept across the globe.

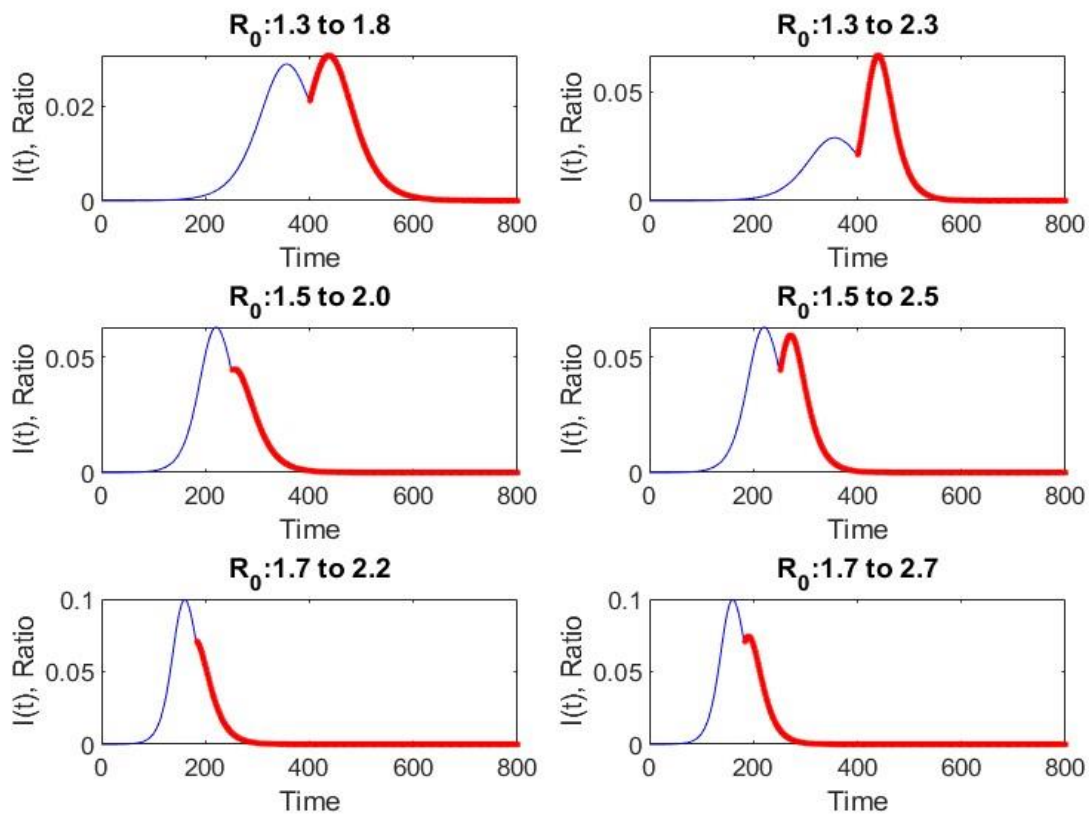


Figure 4. First and second waves corresponding to cases where the contact rate increases as indicated for $R_0=1.3, 1.5$ and 1.7 by amounts $\Delta R_0=0.5$ and 1 .

3.1. USA, St. Louis and Philadelphia data (the effect of contact rate)

Figure 5 portrays the death rate during the same Spanish flu pandemic in two distinct cities of the USA: Philadelphia and St. Louis (Hatchett, 2007). Notably, these two cities exhibited completely different patterns, attributed to the differing policies applied. A clear disparity can be observed in the curves, wherein the peak mortality rate in St. Louis amounted to merely one-eighth of the peak observed in the other city.

In Philadelphia, the state demonstrated a sluggish and hesitant response following the emergence of the first case. It was not until a significant parade took place on the 28th of September, 1918, with the participation of thousands of individuals, that the number of cases surged exponentially, resulting in a large-scale loss of life.

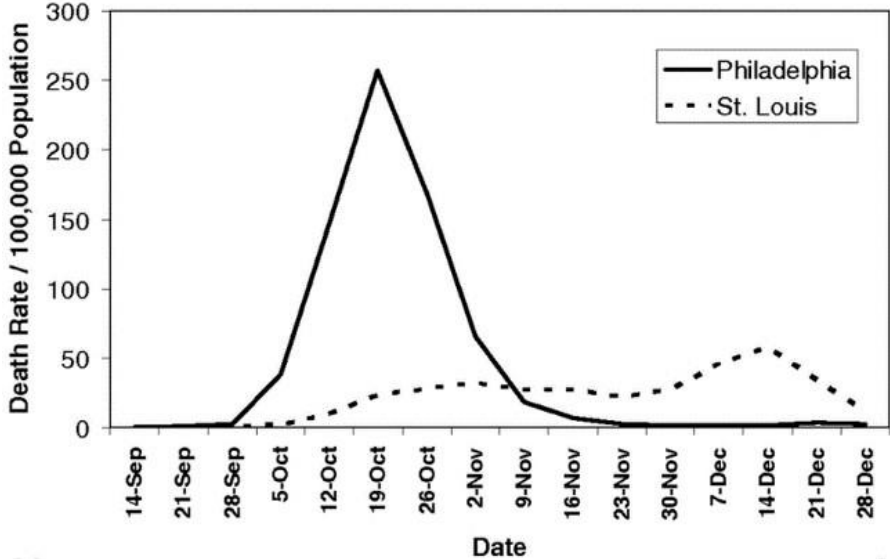


Figure 5. Weekly mortality data in Philadelphia and St. Louis, USA (Hatchett, 2007).

Conversely, in St. Louis, swift and stringent measures were implemented soon after the initial case, including the closure of schools and the prohibition of public gatherings. Consequently, the city successfully flattened the curve. However, when the restrictions were gradually lifted, cases began to rise again, particularly in December, 1918.

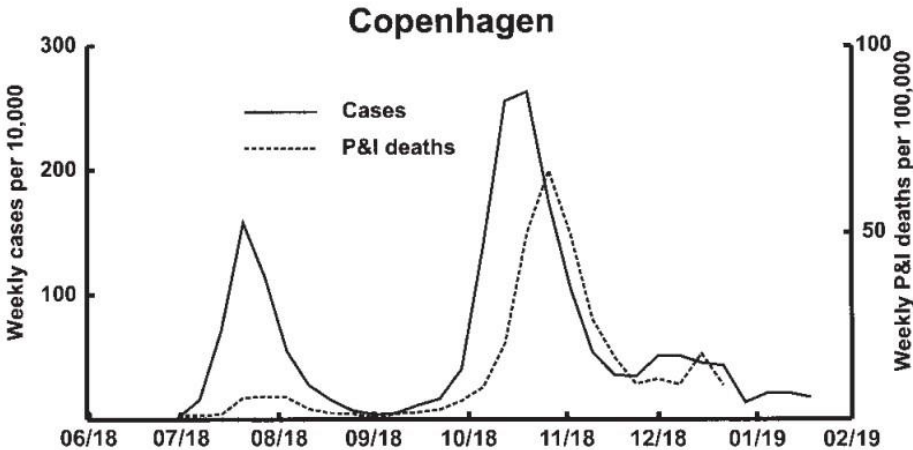


Figure 6. Weekly number of influenza cases and respiratory deaths (pneumonia and influenza) in Copenhagen, Denmark (Andreasen et al., 2008).

3.2. Denmark data (time shift between the peak of fatalities and the peak of infections)

Weekly cases recorded in Copenhagen during the Spanish flu pandemic (Andreasen et al., 2008) are shown in Figure 6. This data, characterized by a stronger second wave includes simultaneous records of cases and fatalities, and besides being an example of multiple waves, displays a time shift between the peak of cases and fatalities, a property that has been discussed in a previous work (Peker- Dobie et al., 2020).

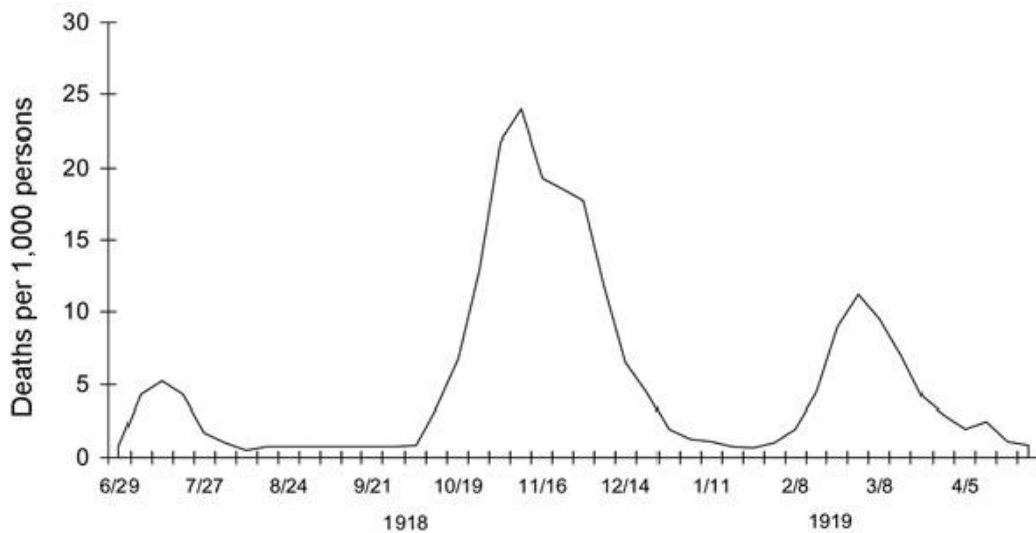


Figure 7. Historical data during the Spanish flu pandemic: Weekly number of deaths (pneumonia and influenza) in the United Kingdom (Jordan et al., 1927).

3.3. UK data (multiple waves)

Figure 7 depicts the monthly deaths in the United Kingdom (Jordan et al., 1927) within the time span of 29/6/1918 to 5/4/1919. This visual representation depicts the occurrence of three successive waves during the course of the pandemic, each exhibiting varying magnitudes. Notably, the first wave was relatively brief, whereas the second and third waves possessed similar longer durations, as indicated by their comparable widths.

3.4. Belfast and Dublin data (multiple waves)

In Figure 8, we observe the graphs depicting weekly death rates caused by the Spanish flu in two cities, Belfast and Dublin in Ireland. This information is credited to Dr. Patricia Marsh (Marsh, 2018). Notably, both cities experienced three waves of the pandemic, with each wave exhibiting approximately equal durations. Belfast displayed a higher peak during the first wave, whereas Dublin witnessed a higher peak during the third wave. The second waves in both cities appeared similar, albeit with a time shift.

3.5. General remarks

In these cases, the manifestation of epidemic waves appears to be associated with seasonality and the relaxation of control measures. It is important to note that during that time, sequence analyses were not available, thus limiting the ability to assess the role of viral variants in these waves.

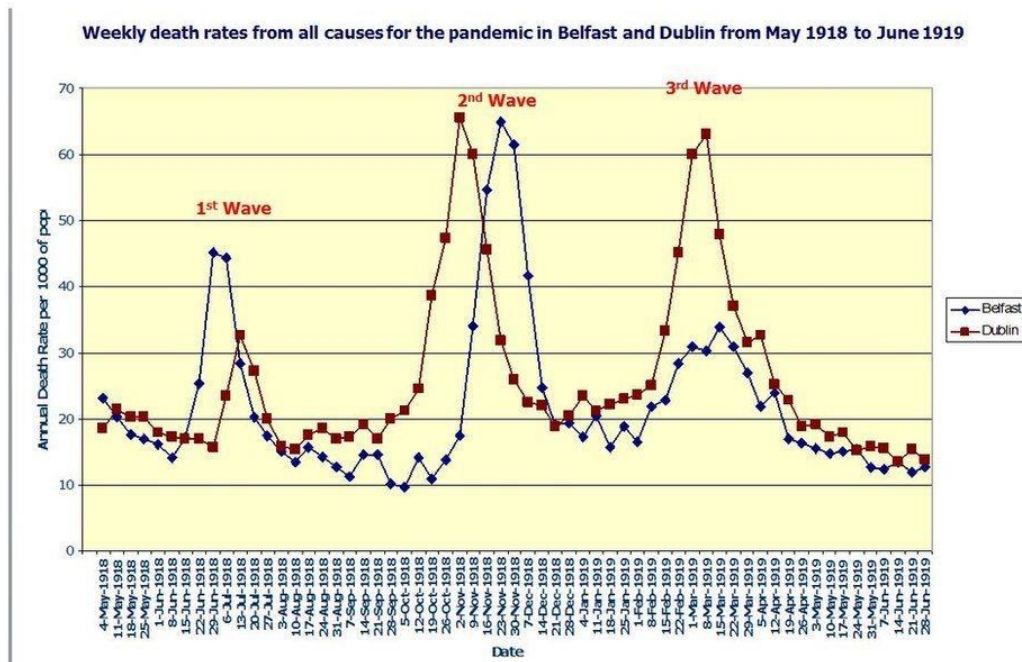


Figure 8. Historical data during the Spanish flu pandemic: Weekly death rates from all causes in Belfast and Dublin, Ireland (Marsh, 2018).

4. Conclusions

In this study, we explore the factors contributing to the occurrence of multiple waves in the course of an epidemic, using the SIR model as a framework. We investigate the effects of parameter changes and present simulations to quantify these effects. We propose that the emergence of successive waves can be explained by several factors. Firstly, the introduction of a new variant of the pathogen can initiate a new wave, representing a distinct epidemic event. Individuals who acquired immunity during the initial wave may have some level of protection against the new strain, affecting the ratio of removed individuals in the population. Secondly, after the end of an epidemic wave, the relaxation of restrictions allows previously protected individuals to re-enter the susceptible population, leading to an increase in susceptible individuals (S). Lastly, the easing of restrictions promotes higher interconnections within the susceptible population, resulting in an increase in the contact rate (R_0). Each of these factors contributes with varying degrees of influences to the birth of a new wave. Data from the 1918 Spanish flu is used to illustrate these effects.

The original model for the spread of epidemics, as proposed by Kermack and McKendrick (Kermack and McKendrick, 1927), is an integral equation, which reduces to the system of ordinary differential equations known as the SIR model under a special choice for the kernel. Actually, the SIR system in the

form of ordinary differential equations fails to replicate the delay between the peaks of infections and fatalities, as for the H1N1 epidemic in Istanbul (Peker-Dobie et al., 2020), but it is widely used in literature and it can be considered as a reasonable choice despite its simplicity. Linearized versions of the ODE SIR model, that are based on replacing the constant β in the model by a time varying, wave-like function described as the infectious force and those approaches that adopt a time varying basic reproduction number, are also common, but these variants of the SIR model fail to reproduce the inherent dynamics of the spread of the epidemics.

Models that involve population dynamics lead to wavelike behavior; these models are appropriate for childhood diseases and lead to a continuous succession of epidemic waves, hence they are not appropriate for explaining the finite wave sequence as observed for flu-type diseases. To the best of our knowledge, there is no comparable study that discusses the qualitative and quantitative reasons behind the wave-like progression of epidemics and their epidemiological causes.

Me varying, wave-like function described as the infectious force and those approaches that adopt a time varying basic reproduction number, are also common, but these variants of the SIR model fail to reproduce the inherent dynamics of the spread of the epidemics.

Models that involve population dynamics lead to wavelike behavior; these models are appropriate for childhood diseases and lead to a continuous succession of epidemic waves, hence they are not appropriate for explaining the finite wave sequence as observed for flu-type diseases. To the best of our knowledge, there is no comparable study that discusses the qualitative and quantitative reasons behind the wave-like progression of epidemics and their epidemiological causes.

Conflict of Interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Authors' Contributions

All authors contributed to the article and approved the submitted version.

References

Andreasen V., Viboud C., Simonsen L. Epidemiologic characterization of the 1918 influenza pandemic

- summer wave in Copenhagen: implications for pandemic control strategies. *Journal of Infectious Diseases* 2008; 297(2): 270-278.
- Ghosh K., Ghosh AK. Study of COVID-19 epidemiological evolution in India with a multi-wave SIR model. *Nonlinear Dynamics* 2022; 109(1): 47-55.
- Hatchett RJ., Mecher CE., Lipsitch M. Public health interventions and epidemic intensity during the 1918 influenza Pandemic. *Proceedings of the National Academy of Science* 2007; 104(18): 7582-7587.
- Hethcote HW. Qualitative analyses of communicable disease models. *Mathematical Biosciences* 1976; 28(3-4): 335-356.
- Jordan EO. Epidemic influenza: A survey. 1927.
- Kermack WO., McKendrick AG. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing papers of a Mathematical and Physical Character* 1927; 115(772): 700-721.
- Langfeld K. Dynamics of epidemic diseases without guaranteed immunity. *Journal of Mathematics in Industry* 2021; 11(1): 1-8.
- Marsh P. Spanish flu: How the 1918 pandemic hit Ulster and beyond. 2018, Accessed July 17, 2024, <https://www.bbc.com/news/uk-northern-ireland-46265074>
- Peker-Dobie A., Demirci A., Bilge AH., Ahmetolan S. On the time shift phenomena in epidemic models. *Frontiers in Physics* 2020; 8: 578455-578455.
- Perakis G., Singhvi D., Skali Lami O., Thayaparan L. COVID-19: A multiwave SIR-based model for learning waves. *Production and Operations Management* 2023; 32(5): 1471-1489.
- Singh P., Gupta A. Generalized SIR (GSIR) epidemic model: An improved framework for the predictive monitoring of COVID-19 pandemic. *ISA Transactions* 2022; 124: 31-40.
- Taubenberger JK., Morens DM. Influenza: the mother of all pandemics. *Revista Biomedica* 2006; 17(1): 69-79.
- Tizzoni M., Bajardi P., Poletto C., Ramasco JJ., Balcan D., Gonçalves B., Vespignani A. Real-time numerical forecast of global epidemic spreading: case study of 2009 A/H1N1pdm. *BMC Medicine* 2012; 10: 1-31.
- Xu B., Cai J., Chowell G., Xu B. Mechanistic modelling of multiple waves in an influenza epidemic of pandemic. *Journal of Theoretical Biology* 2020; 486: 110070-110070.

Changes in Mineral Composition of Different Peanut Varieties Exposed to Leaf Damage

Mustafa YILMAZ^{1*}, Cenk Burak ŞAHİN², Necmi İŞLER³

¹Düziçi Directorate of Agriculture and Forestry, Osmaniye, Türkiye

^{2,3}Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Hatay, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-1816-0729>

²<https://orcid.org/0000-0001-6270-8184>

³<https://orcid.org/0000-0001-5877-7830>

*Corresponding author: mustafayilmaz80@hotmail.com

Research Article

Article History:

Received: 10.09.2024

Accepted: 30.01.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Peanut

Variety

Leaf damage

Macro and micro elements

ABSTRACT

This study was conducted in the Eastern Mediterranean conditions in 2020 and 2021 to determine the effect of different leaf damage (LD) ratios (0, 25%, 50%, and 75%) applied at different developmental stages (flowering, gynophore formation, and pod formation) of two different peanut cultivars (NC 7 and Halisbey) on some macro and micronutrients. In the study, the main plots consisted of cultivars (NC 7 and Halisbey), subplots comprised of application stage (R1, R2, R3) and sub-sub-plots consisted of leaf losses ratios (0, 25%, 50%, and 75%). In the study, the highest content of K, Fe, Cu, Mn, and Na elements was found in 75% LD treatment while the control group was found to be the lowest. At the same time, in 75% LD treatment, it was found that the Cu, Mn, Na and Li element content of the seed was the highest and the control group was the lowest. It was observed that as the leaf damage rate increased in peanuts, the K, Fe, Cu, Mn and Na element values in the leaf and the Mn, Na and Li element values in the seed increased.

Farklı Yerfıstığı Çeşitlerinde Yaprak Zararının Mineral Bileşimindeki Değişimler

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.09.2024

Kabul tarihi: 30.01.2025

Online Yayınlama: 12.03.2025

Keywords:

Yerfıstığı

Çeşit

Yaprak zararı

Makro ve mikro elementler

ÖZ

Bu çalışma, iki farklı yerfıstığı çeşidinin (NC 7 ve Halisbey) farklı gelişme dönemlerinde (çiçeklenme zamanı, ginofor oluşum zamanı ve meyve oluşum zamanı) farklı yaprak zararı (YZ) uygulamalarının (%0, %25, %50, %75) bazı makro ve mikro besin elementleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla 2020 ve 2021 yıllarında Doğu Akdeniz Geçit uşağı ekolojisinde yürütülmüştür. Çalışmada ana parseller çeşitlerden (NC 7 ve Halisbey), alt parseller uygulama zamanından (R1, R2, R3) ve alt alt parseller ise yaprak kaybı oranlarından (%0, %25, %50 ve %75) oluşmuştur. Çalışmada K, Fe, Cu, Mn, Na element içeriklerinin en yüksek %75 YZ uygulamasında bulunduğu, kontrol grubunun ise en düşük olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda %75 YZ uygulamasında tohumun Cu, Mn, Na ve Li element içeriklerinin en yüksek, kontrol grubunun ise en düşük olduğu tespit edilmiştir. Yerfıstığında yaprak zarar oranı artıkça yapraktaki K, Fe, Cu, Mn ve Na element değeri; tohumda ise Mn, Na ve Li element değerlerinin artığı görülmüştür.

To Cite: Yılmaz M., Şahin CB., İşler N. Changes in Mineral Composition of Different Peanut Varieties Exposed to Leaf Damage. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 942-956.

1. Introduction

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) originating from South America belongs to the legume family. The peanut plant was cultivated 8500 years ago in the Zana Valley in northern Peru, possibly on the eastern side of

the Andes mountains (Hammons et al., 2016; Stalker et al., 2016; Klongová et al., 2023). Peanut, which has been the most valuable food source for thousands of years, especially in China, India, and America has an important role in human and animal nutrition due to their oil, protein, mineral and vitamin contents (List, 2016; Asik and Asik, 2023; Suleman et al., 2023).

Besides its animal and human nutrition, peanut is widely used in the oil industry. Furthermore, peanut is an important oil plant due to its high oil content (42-52%) and is an important protein source for animal nutrition having 25-32% protein content (Shubo et al., 2004; Asibuo et al., 2008; Arioglu et al., 2018).

In 2022, peanut was cultivated on 30.5 million ha with a production of 54.2 million tonnes and the average pod yield was 1770 kg ha⁻¹ in the world. In Türkiye, thousands of tons of peanut were produced from 46.0 thousand ha of peanut cultivation. With a pod yield of 4020 kg ha⁻¹ in 2023, it had a yield value above the world average (FAO, 2024; TUIK, 2024). The higher average yield of peanut in Türkiye as compared to the world's average yield is due to fertile soils and irrigated agriculture. In Türkiye, 48% of the peanut is produced in Adana, 24% in Osmaniye, and 13% in Şırnak, while the rest is produced in other provinces. Moreover, 95% of the marketing and processing of peanuts in Türkiye is carried out in Osmaniye province (TUIK, 2024).

One of the most significant factors affecting yield and quality in agricultural activities is atmospheric conditions. Agricultural operations are mostly carried out under atmospheric conditions. Meteorological events adversely affect vital life activities as soon as they go beyond their usefulness to living things, and then, with the increase in their severity, they become disasters (Asar et al., 2007; Praveen and Sharma, 2019; Liliane and Charles, 2020). Optimum meteorological conditions for agriculture represent themselves in the form of abundant and high-quality agricultural products however, events like severe spring frosts, strong winds, storms, heavy rainfall and floods, drought, hail, etc. significantly reduce or even destroy agricultural production (Gomez, 2005; Asar et al., 2007; Sivakumar, 2020). Hail, which is one of the meteorological natural disasters, causes great damage to agricultural and economic losses when it occurs in the months when agricultural activities are most intense in our country (Asar et al., 2007).

Due to global climate change, abiotic stress factors (like high temperature, hail, storms, frost, flood, and forest fires) negatively affect agricultural production both in Türkiye and in the world. Likewise, biotic stress factors (like diseases and pests) also damage the plants. Besides other factors, leaf losses in peanut occurs due to humans, animals, early (*Cercospora arachidicola*) and late (*Cercosporidium personatum*) leaf spot diseases, cotton leafworm (prodenia) (*Spodoptera littoralis*), green worm (*Heliothis armigera*), beet armyworm (karadrina) (*Spodoptera exigua*), red spider (*Tetranychu* spp.) and natural disasters (flood, frost, storm) (İsler and Gozuyesil, 2016; Sabir et al., 2018; Fahad, 2022).

In recent years, because of global climate change in the world and in our country, disasters such as forest fires, floods, high temperatures, landslides, and hail, along with deadly diseases (COVID-19, etc.) have

started to threaten both humanity and nature. In short, the world is now clearly exposed to disasters along with global warming.

In this study, the effect of leaf losses in peanut on both leaf and seed nutrient content was investigated when no measures were taken against biotic (diseases and pests) and abiotic (hail, flood, high temperature, forest fires, etc.) damages caused by climate change.

2. Material and Methods

2.1. Material

The NC 7 cultivar used in this study contributes 95% to peanut cultivation in Türkiye, however, the cultivation of other peanut cultivars (like Halisbey) is also becoming more common. Both varieties were obtained from the Oil Seed Research Institute/Osmaniye seed collection. The experiment was carried out at the agricultural research and examination location (37°07'30.11"N; 36°11'57.35"E 65 m) in Cevdetiye Town belonging to the directorate of Oil Seed Research Institute. The soil analysis of the experimental area showed that the soil was high in pH and iron content, medium in calcium, and insufficient in terms of lime and organic matter. The average climatic values of 2020, 2021 and the long years of Osmaniye, where the experiment was conducted are given in Figure 1.

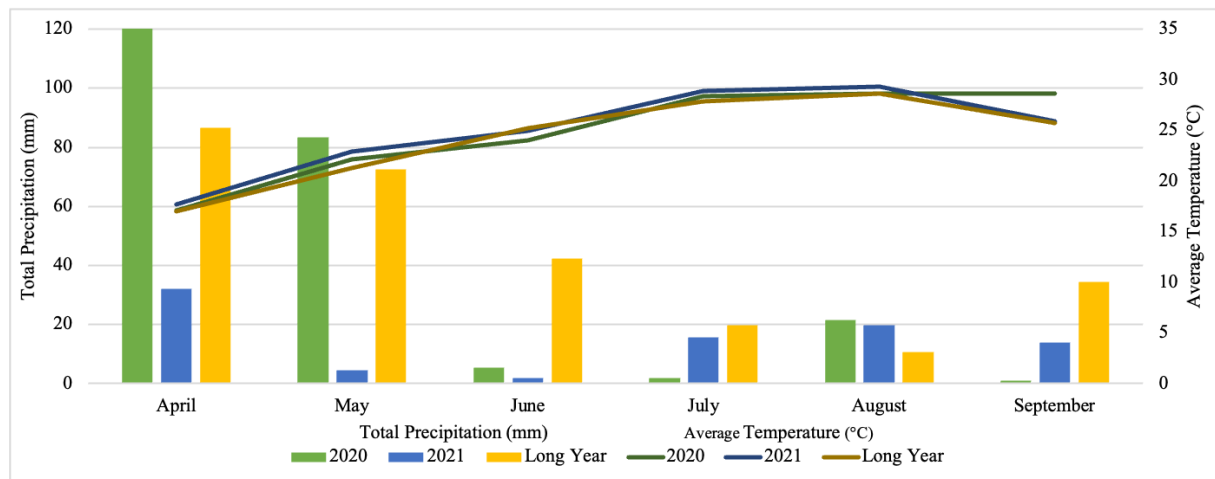


Figure 1. Climate parameters of the research field (2020, 2021 and long-year average)

2.2. Methods

The experiment was carried out for 2 years (2020 and 2021) according to RCBD arranged in a split-split-plot design with 3 replications. Main plots were allocated to cultivars (NC 7 and Halisbey), subplots to application stages ((flowering time (R1), gynophore formation time (R2) and pod formation time (R3)) and sub-subplots to leaf damage (LD) (0, 25%, 50%, and 75%). Each plot comprised of 4 rows of 5 m in length and the planting density was kept as 70 × 15 cm.

In the first year of the experiment, sowing was done manually on April 30, 2020. Leaf damages in the first year of the experiment were done at different stages i.e., at R1, R2 and R3 on June 12, 2020, June 25, 2020, and July 17, 2020, respectively. First year crop was harvested on September 23, 2020. In the

second year of experiment, sowing was done manually on April 29, 2021. Leaf damages were done at various stages i.e., at R1, R2 and R3 on June 11, 2021, June 22, 2021, and July 16, 2021, respectively. In the second year, the experiment was harvested on September 27, 2021.

The peanut plant's leaves had an equal number on each branch. All 20 plants in each plot had their branches counted while the leaves were being damaged based on the treatment ratios. The plants in the plot were subjected to leaf reduction (control, 25, 50, and 75%) using scissors after the average number of branches in each plot was established.

The samples to be analyzed for nutrient elements in the leaves were collected in the R4 stage and taken to the laboratory, and the dust on them was removed by passing them through distilled water twice. Afterward, the samples were dried in an oven at 55°C for 72 hours (Sahin and Isler 2022). The dried leaf samples were grounded with the help of a grinder and stored in labeled bags for analysis. Seeds were ground directly without any drying process, then labeled and stored in bags. MP-ASS device was used to read macro and micro nutrients in leaves and seeds (Sahin and Isler, 2022).

2.3. Statistical analysis

The analysis of variance of the obtained data was carried out using R v4 and SPSS 22 statistical programs as appropriate for the RCBD arranged in a split plot design. Means were compared according to Duncan's Multiple Range tests (Steel and Torrie, 1980).

3. Results and Discussion

3.1. Phosphorus (P)

Leaf damage (LD) applications in different stages were found to be significant for variety × stage, variety × damage ratio, stage × damage ratio and variety × stage × damage ratio interactions ($p < 0.01$) (Table 1 and 2). Based on the two-year averages; among the cultivars, leaf P content was 0.96% in NC 7 and 1.09% in Halisbey variety. Regarding stages, the highest leaf P contents (1.07%) were determined in R2 stage and the lowest (0.99%) were found in R3 stage. Leaf P contents were found to be lowest in control and 50% LD (1.02%) treatment, while the highest leaf P contents were found for 25% LD (1.07%) treatment (Table 1). When the two-year averages were examined; among the cultivars, seed P contents were 0.87% in Halisbey and 1.09% in NC 7 variety. There was no difference in terms of seed P contents in stages and applications (Table 2). P is one of the rare elements in the world and is an important element for peanut. P deficiency is more prominent in areas with no P fertilization or high phosphorus costs (Bolonhezi, 2005; Smartt, 2013; Asik and Asik, 2023). It was observed that the applications made in the study did not cause any deficiency in the amount of P.

3.2. Potassium (K)

All possible interactions were found significant ($p < 0.01$) regarding leaf and seed K contents (Table 1 and 2). Based on the two-year averages; Leaf K contents were found to be 6636.16 ppm in NC 7 and

8163.98 ppm in Halisbey variety. Regarding stages, it was found to vary between 7346.81 ppm (R1) and 7446.55 ppm (R2). It was determined that the K contents of the leaves varied between 7047.74 ppm (50% LD) and 7936.41 ppm (75% LD) (Table 1). Among the cultivars, seed K content was found to be 3075.68 ppm (Halisbey) and 4027.84 ppm (NC 7) when the two-year averages were examined. Regarding stages, seed K contents were found to vary between 3180.50 ppm (R1 stage) and 3969.55 ppm (R2 stage). Seed K contents under different applications were found to vary between 3337.56 ppm (25% LD) and 3794.09 ppm (50% LD) (Table 2). The K element in peanut is one of the elements required from the early stages of growth to maturity and is found in sufficient amounts in Türkiye soils (Smartt, 2013; Taiz and Zeiger, 2013). Mupunga et al. (2017) reported the amount of K in peanuts as 7050 ppm. Among the leaf damage treatments in peanut, the highest amount of K in both leaf and seed was determined in the R2 stage, while the lowest amount of K was recorded in the R1 stage. In non-application rates, it was observed that the amount of K increases in both leaves and soil with the increase in damage rate. It is thought that the increase in the amount of K accumulates in the plant to protect itself.

3.3. Iron (Fe)

All interactions were found significant ($p < 0.01$) for leaf and seed Fe contents (Table 1 and 2). Considering the two-year averages; among the cultivars, leaf Fe contents were 43.65 ppm (Halisbey) and 46.22 ppm (NC 7). Regarding stages, the highest Fe contents (49.20 ppm) were recorded in R1 stage while the lowest (40.81 ppm) were recorded in R2 stage. The highest leaf Fe contents were 47.61 ppm for 75% LD treatment while the lowest was 40.79 ppm for 50% LD treatment (Table 1). When the two-year averages were examined; among the cultivars, seed Fe contents were found to be 368.84 ppm (NC 7) and 490.70 ppm (Halisbey). Regarding stages, the highest seed Fe contents (474.09 ppm) were found in R1 stage while the lowest (372.27 ppm) was recorded in R2 stage. In applications, the highest seed Fe contents were found to be (547.49 ppm) 25% LD, while the lowest (342.56 ppm) were found at 50% LD treatment (Table 2). Brar et al. (2008) in their study determined that the leaf Fe contents vary between 127-195 ppm. Iron is one of the most important elements for the growth and survival of almost all living organisms (Valko et al., 2005). Gao and Shi (2007) in their study to determine the peanut genotypes resistant to iron deficiency reported that the leaf Fe content varies between 43.61-195.36 ppm and genetically the iron content varies according to the cultivars.

It has been reported that iron chlorosis causes a decrease in product and pod quality because of a decrease in leaf photosynthetic pigment concentrations, especially chlorophyll (Abadia et al., 2011). In Türkiye, NC 7 peanut varieties account for 95% of peanuts cultivated area. Due to the excessive calcareousness of the area under peanut cultivation, iron uptake by peanut becomes difficult and causes chlorosis, especially in the NC 7 variety (Isler and Gozuyesil, 2016). The present study was not like the research conducted by Brar et al. (2008) however; it was like the study related to the iron conducted by Gao and Shi (2007). Fe element is actively involved in the structure of nitrogenase enzyme, which plays an

important role in symbiotic nitrogen fixation in legumes (Chonkar and Chandel, 1991; Terry and Jolley, 1994). Ozcan and Seven (2003) reported that Fe content in peanut seed varies between 1917.86-2311.55 ppm and reported that there were differences between varieties regarding seed Fe content. Additionally, the seed Fe content was higher when the damage was conducted in the R1 stage as compared to other stages (R2 and R3 stages). Among treatments, it was found that 25% LD treatment increased the Fe content in the seed. The differences in the iron content of the seed among the varieties might be due to their genetic factors.

3.4. Calcium (Ca)

All the interactions were found significant for leaf and seed Ca content ($p < 0.01$) (Table 1 and 2). According to two-year data, average leaf Ca content was 115.56 ppm (Halisbey) and 145.79 ppm (NC 7). Regarding stages, the lowest leaf Ca content was 127.97 ppm at R1 stage while the highest and lowest leaf Ca content was 133.46 ppm at R3 stage. The highest leaf Ca content (139.02 ppm) was found in the control while the lowest leaf Ca content (122.01 ppm) was recorded at 25% LD treatment. Calcium is one of the most important elements required for peanut. Peanut plants take about 70% of the calcium they need directly from the soil with their gynophores and pods (Arioglu, 2014; Kolte, 2019). Brar et al. (2008) determined that leaf Ca content varies between 1.7-2.20%. After nitrogen and potassium, the most taken element by peanut from the soil is calcium; therefore, amount of Ca in soil is directly proportional to the amount of Ca in seed and pod (Arioglu, 2014).

Based on the two-year averages; among cultivars, the seed Ca content was found to be 939.79 ppm (Halisbey) and 972.99 ppm (NC 7). Regarding stages, the highest seed Ca content was 1058.76 ppm at R3 stage while the lowest seed Ca content was 872.44 ppm at R2 stage. The highest seed Ca content (1185.31 ppm) was recorded at 25% LD, followed by 936.48 ppm at control, 900.44 ppm at 50% LD, and 803.35 pm at 75% LD. Ca found in the peanut roots cannot be carried to the gynophores and pods, so the seeds in the plant obtain the Ca element with the help of gynophores (Kolte, 2019). Ozcan and Seven (2003) documented that the Ca content in peanut seed varies between 79449.9-89377.9 ppm and there were differences among varieties. The low amount of Ca in the soil reduces the seed emergence and resistance to diseases (Smartt, 2013). In this experiment, the Ca content in the seed of Halisbey cultivar was more due to varietal differences. In both years, the stages also showed a difference. It has been observed that 25% LD treatment increased the seed Ca content in both years. It can be stated that the plant protects itself and accelerates the uptake of nutrients at the 25% LD treatment. But when the damage to the leaves reached more than 50%, it was found that the plant could not withstand the amount of Ca.

3.5. Zinc (Zn)

Leaf Zn content showed a statistically significant difference ($p < 0.01$) between stage x damage ratio, and cultivar x stage x damage ratio interaction (Table 1). All interactions were statistically significant

for Zn seed content (Table 2). Based on the two-year averages; among the cultivars, leaf Zn content was 61.45 ppm in Halisbey and 65.59 ppm in NC 7 variety. Regarding stages, the highest leaf Zn content (66.59 ppm) was found in R2 stage while the lowest (58.55 ppm) was recorded in R3 stage. Leaf Zn content was found between 61.49 ppm (25% LD) and 66.09 ppm (Control) (Table 1). Considering the two-year averages; among the cultivars, seed Zn content was found to be 30.21 ppm (NC 7) and 31.74 ppm (Halisbey). Regarding stages, seed Zn content varied between 29.15 ppm (R1 stage) and 34.34 ppm (R2 stage). Seed Zn content was found to vary between 28.26 ppm (control) and 33.59 ppm (25% LD) (Table 2).

Zn deficiency varies in direct proportion to high soil pH and high available P levels (Smartt, 2013). Zn deficiency causes interveinal chlorosis in newly formed leaves. As the deficiency of Zn increases, the leaves turn red brown and then fall off the plant. Moreover, the growth slows down, plants become stunted, and internodes begin to reduce (Smartt, 2013). In this study, there was no difference in leaf Zn content between the stages and LD treatments. On the other hand, it was seen that seed Zn content was most affected in R1 stage while less affected in R2 stage. Here, the flowering started 40-60 days after planting, and it shows the need for Zn during the damage stages (Smartt, 2013). 25% LD treatment increased the seed Zn content while it was observed that the control group was lower among all treatments. It is evident that the little leaf damage that does occur has no detrimental effects on the plant and really works to its advantage. However, the plant suffers when leaf damage losses surpass 50%. According to the results, it was observed that 25% LD and damages at R2 stage were more appropriate to increase Zn content in the seed than other treatments and stages.

3.6. Copper (Cu)

Leaf damage applications at different stages were found to be significant ($p < 0.01$) in terms of cultivar \times period, cultivar \times damage rate, period \times damage rate and cultivar \times period \times damage rate interactions (Table 1 and 2). Considering the two-year averages; Leaf Cu content was 13.04 ppm (NC 7) and 16.68 ppm (Halisbey) among cultivars. Regarding stages, R3 and R2 stage was found highest (15.05 ppm, 14.89 ppm) whereas R1 stage was recorded to be the lowest (14.64 ppm). In different applications, leaf Cu content was found lowest in the control group (13.99 ppm), while highest 75% LD (16.03 ppm) (Table 1). Considering the two-year averages; among the cultivars, the seed Cu content was found to be 4.22 ppm (Halisbey) and 5.32 ppm (NC 7). Regarding stages, R2 stage was found to be the highest (5.12 ppm) and the R1 stage was recorded to be the lowest (4.42 ppm). In the applications, the seed Cu content was found to be the least in the control group (4.11 ppm), while the highest was found to be 75% LD (5.14 ppm) (Table 2). Peanut provides a significant amount of Cu in terms of nutrition. 100 g of roasted peanuts will meet the daily requirement of Cu. However, the presence of sufficient Cu in the seed reduces the wrinkling of the seeds and increases the number of mature seeds (Smartt, 2013). Mupunga et al. (2017) reported that peanut seeds contain about 11.44 ppm Cu. The cultivars used in our experiment were found to be lower than the literature rate. It is observed that the Cu content of both

leaves and seeds increases as the leaf damage rate increases. This can be explained by the fact that the plant increases its Cu content to increase its resistance to increased damage.

3.7. Manganese (Mn)

The results of the study determined that all interactions were significant ($p < 0.01$) in terms of leaf and seed Mn content (Table 1 and 2). When the two-year averages were examined; Leaf Mn content was found to be 20.34 ppm (Halisbey) and 22.91 ppm (NC 7) among cultivars. Regarding stages, the R1 (21.18 ppm) and R2 (21.33 ppm) stages in the same group were found to be the lowest, while the R3 period (22.36 ppm) was the highest. It was determined that the Mn content of the leaves varied between 19.79 ppm (control) and 23.09 ppm (75% LD) in applications (Table 1). Considering the two-year averages; among the cultivars, seed Mn content was found to be 52.81 ppm (Halisbey) and 57.46 ppm (NC 7). Regarding stages, the R3 stage was lowest (52.73 ppm) whereas R2 stage was found to be highest (57.39 ppm). It was determined that seed Mn content varied between 49.85 ppm (25% LD) and 61.33 ppm (75% LD) (Table 2). Deficiency of Mn element is common in extremely calcareous and high pH soils (Smartt, 2013). It varies between 10 and 500 ppm in terms of Mn content in peanut seeds (Mupunga et al., 2017). It was observed that the Mn content in the seed and the leaf increases as the leaf damage rate increases. The increase in this value may be due to the accumulation of more Mn in the plant to reduce the chlorosis that will occur because of Mn deficiency.

3.8. Sodium (Na)

All interactions were found significant ($p < 0.01$) in terms of leaf and seed Na content (Table 1 and 2). Considering the two-year averages; leaf Na content was found to be 258.22 ppm (Halisbey) and 265.26 ppm (NC 7). Regarding stages, R1 stage (262.90 ppm) was found to be highest with lowest R2 and R3 stage (261.06 ppm, 261.26 ppm). In terms of applications, the Na contents were recorded between 256.49 ppm (50% LD) and 269.45 ppm (75% LD) (Table 1). When the two-year averages were examined; Among the cultivars, the seed Na contents were found between 234.65 ppm (NC 7) and 384.43 ppm (Halisbey). Regarding stages, R3 stage (438.81 ppm) was found to be highest while the lowest was R2 stage (241.83 ppm). The seed Na content was maximum i.e. 535.59 ppm with 75% LD application, whereas minimum seed Na content i.e. 233.25 ppm was found under 25% LD application (Table 2). Na, which is beneficial for many plants, is an essential plant nutrient in peanuts. One of the most important benefits of Na is that it resists the wilting of plants in dry periods and plays a positive role in water economy (Smartt, 2013). A decrease was observed in the amount of leaf Na content by the end of applications that were done after the R1 stage, and the amount of leaf Na content was increased with the increase in application rates. With the increased seed Na content in the damage at R3 stage, it is thought that the plant increases the amount of Na for self-protection as the rate of application damage increases in parallel with the amount of leaf Na.

3.9. Lithium (Li)

The interactions of leaf damage applications at different growth stages of peanut, cultivar \times period, cultivar \times damage rate, period \times damage rate and cultivar \times period \times damage rate were found to be insignificant in terms of leaf Li content whereas they were found significant ($p < 0.01$) in terms of seed Li content (Table 1 and 2). Considering the two-year averages; Among the cultivars, leaf Li content was 4.99 ppm (Halisbey) and 5.01 ppm (NC 7). Regarding stages, the R2 and R3 stages (4.99 ppm) were found to be lowest while highest was R1 stage (5.00 ppm). Under different applications, minimum leaf Li contents were found under 75% LD (4.98 ppm), while the highest was found in the control group (5.02 ppm) (Table 1). When the two-year averages were examined; seed Li contents in the cultivars were recorded between 22.84 ppm (NC 7) and 24.53 ppm (Halisbey). Regarding stages, the R2 stage (24.26 ppm) was highest whereas the lowest was R3 stage (23.09 ppm). Under different applications, seed Li contents were less in the control group (22.50 ppm), whereas high under 75% LD (24.18 ppm) (Table 2). Li contents were found to be increased with the increase in leaf damage rates. According to the different application periods, it is determined that the Li contents increase both in the leaf and the seed by increasing the application's damage rates.

Table 1. Average values of P, K, Fe, Ca, Zn, Cu, Mn, Na and Li content of peanut leaf for studied years.

	P (%)	K (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Li (ppm)
Cultivars	**	**	**	**	ns	ns	**	**	ns
NC 7	0.96±0.02 B	6636.16±31.32 B	46.22±1.45 A	145.79±4.35 A	65.59±4.62	13.04±0.28	22.91±0.34 A	265.26±1.96 A	5.01±0.01
Halisbey	1.09±0.01 A	8163.98±136.04 A	43.65±0.95 B	115.56±3.16 B	61.45±1.04	16.68±0.23	20.34±0.34 B	258.22±2.36 B	4.99±0.01
Stages		**	**	**	ns	**	**	**	ns
R1	1.03±0.03	7346.81±192.09 z	49.20±1.82 x	127.97±4.71 z	65.40±3.25	14.64±0.56 y	21.18±0.38 y	262.90±2.43 x	5.00±0.00
R2	1.07±0.02	7446.55±202.52 x	40.81±1.34 z	130.59±4.90 y	66.59±6.12	14.89±0.51 x	21.33±0.42 y	261.06±3.59 y	4.99±0.01
R3	0.99±0.01	7406.85±206.08 y	44.79±0.65 y	133.46±6.99 x	58.55±1.44	15.05±0.39 x	22.36±0.61 x	261.26±2.05 y	4.99±0.01
Damage	ns	**	**	**	**	**	**	**	**
Control	1.02±0.03	7298.05±189.14 c	45.86±1.62 b	139.02±10.39 a	66.09±8.28	13.99±0.64 d	19.79±0.40 d	261.12±1.93 b	5.02±0.02 a
25%	1.07±0.02	7318.08±186.88 b	45.47±2.26 b	122.01±4.53 d	61.49±1.40	15.05±0.49 b	21.57±0.70 c	259.91±2.27 c	4.99±0.01 ab
50%	1.02±0.02	7047.74±184.76 d	40.79±1.19 c	125.45±4.40 c	64.40±4.51	14.36±0.48 c	22.03±0.45 b	256.49±2.41 d	5.00±0.01 ab
75%	1.03±0.02	7936.41±295.78 a	47.61±1.44 a	136.21±3.59 b	62.08±1.28	16.03±0.54 a	23.09±0.36 a	269.45±4.66 a	4.98±0.01 b
Years	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
2020	1.42±0.01	6765.78±202.39	49.73±0.94	109.79±1.54	41.61±4.14	11.79±0.36	11.35±0.18	236.88±3.29	4.98±0.01
2021	0.64±0.02	8034.36±75.50	40.13±1.91	151.55±5.93	85.42±2.58	17.93±0.32	31.89±0.48	286.59±3.00	5.01±0.00
Average	1.03±0.01	7400.07±114.12	44.93±0.87	130.67±3.22	63.52±2.36	14.86±0.28	21.62±0.28	261.74±1.58	5.00±0.01
C × S	**	**	**	**	ns	**	**	**	ns
C × D	**	**	**	**	ns	**	**	**	ns
S × D	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
C × S × D	**	**	**	**	**	**	**	**	ns

^a Letters show different groups in each column. ** $p < 0.01$; ns: Non-significant.

Table 2. Average values of P, K, Fe, Ca, Zn, Cu, Mn, Na and Li content of peanut seed for studied years

	P (%)	K (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Li (ppm)
Cultivars	**	**	**	**	**	**	**	**	**
NC 7	1.09±0.01 A	4027.84±172.57 A	368.84±25.89 B	972.99±55.82 A	30.21±0.86 B	5.32±0.16 A	57.46±2.10 A	234.65±3.39 B	22.84±0.41 B
Halisbey	0.87±0.02 B	3075.68±70.36 B	490.70±32.18 A	939.79±28.57 B	31.74±1.08 A	4.22±0.13 B	52.81±3.27 B	384.43±73.77 A	24.53±0.55 A
Stages	ns	**	**	**	**	**	**	**	**
R1	0.97±0.03	3180.50±171.86 z	474.09±32.69 x	937.98±26.22 y	29.15±0.77 z	4.42±0.17 z	55.29±2.84 y	247.97±9.52 y	23.69±0.46 y
R2	0.99±0.03	3969.55±217.61 x	372.27±45.78 z	872.44±30.88 z	34.34±1.36 x	5.12±0.25 x	57.39±3.18 x	241.83±8.60 z	24.26±0.64 x
R3	0.98±0.03	3505.22±135.18 y	442.96±31.26 y	1058.76±81.20 x	29.44±1.11 y	4.77±0.17 y	52.73±4.06 z	438.81±109.19 x	23.09±0.71 z
Damage	ns	**	**	**	**	**	**	**	**
Control	1.02±0.03	3439.91±247.71 c	412.98±31.28 c	936.48±27.67 b	28.26±0.79 d	4.11±0.14 c	56.32±0.81 b	245.32±4.89 b	22.50±0.59 c
25%	0.96±0.03	3337.56±101.86 d	547.49±58.80 a	1185.31±97.34 a	33.59±1.02 a	4.90±0.18 b	49.85±2.50 d	224.00±3.87 d	24.05±0.45 ab
50%	0.93±0.03	3794.09±229.32 a	342.56±31.35 d	900.44±31.43 c	29.38±1.14 c	4.93±0.28 b	53.04±1.98 c	233.25±11.65 c	24.00±0.45 b
75%	1.01±0.05	3635.47±254.38 b	416.08±34.49 b	803.35±18.94 d	32.68±1.96 b	5.14±0.28 a	61.33±6.95 a	535.59±139.92 a	24.18±1.11 a
Years	**	**	**	**	**	**	**	**	**
2020	1.21±0.01	3813.63±139.54	425.86±20.90	1226.07±36.75	26.34±0.86	4.01±0.11	28.69±1.38	166.44±3.87	23.62±0.35
2021	0.75±0.03	3289.89±116.96	433.69±22.85	686.72±46.67	35.61±1.29	5.53±0.18	81.57±3.59	452.64±75.66	23.74±0.36
Average	0.98±0.02	3551.76±108.41	429.77±21.74	956.39±31.19	30.98±0.69	4.77±0.12	55.13±1.95	309.54±37.72	23.68±0.35
C × S	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C × D	**	**	**	**	**	**	**	**	**
S × D	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C × S × D	**	**	**	**	**	**	**	**	**

^aLetters show different groups in each column. ** $p < 0.01$; ns: Non-significant.

3.10. Correlation

The Pearson correlation coefficients and significance levels for the characteristics examined in the two-year average data of the trial are shown in Table 3. A significant and negative correlation was observed between leaf Ca, Zn, Cu, Mn, Na elements and leaf P content. A significant and positive correlation was observed between leaf K and Cu content, leaf Zn and Mn content, leaf Cu, Mn and Na contents. In case of seed, a positive and significant correlation was observed between seed P and Ca content, seed Cu and Mn content, seed Zn, Cu and Mn content. A significant and negative correlation was observed between seed Ca and Mn content. Our findings in the trial were like the results obtained by Sahin and Isler (2022).

Table 3. Correlation analysis for the investigated parameters according to average values of peanut for studied years

	P	K	Fe	Ca	Zn	Cu	Mn	Na
<i>Leaf</i>								
P	1							
K	-.334	1						
Fe	.298	.164	1					
Ca	-.564	.175	-.088	1				
Zn	-.558	.272	-.190	.241	1			
Cu	-.600	.724	-.195	.183	.458	1		
Mn	-.908	.349	-.331	.467	.610	.727	1	
Na	-.634	.454	-.083	.439	.494	.648	.735	1
Li	-.282	.005	-.096	.352	.135	.079	.227	.231
<i>Seed</i>								
P	1							
K	.317	1						
Fe	-.112	-.370	1					
Ca	.546	-.061	.118	1				
Zn	-.137	.036	.186	-.274	1			
Cu	-.078	.228	-.011	-.325	.671	1		
Mn	-.424	-.153	.154	-.542	.545	.525	1	
Na	-.366	-.266	-.117	-.090	-.294	.015	-.062	1
Li	-.002	-.218	.142	.030	.318	-.041	.291	-.390

P: Phosphorus, K: Potassium, Fe: Iron, Ca: Calcium, Zn: Zinc, Mn: Manganese, Na: Sodium, Li: lithium.

4. Conclusions

Extreme weather conditions are observed due to global warming and climate change that has accelerated in recent years. Summer plants such as peanuts in their growth and development periods are fully damaged by different biotic and abiotic factors. In this study, the effect of leaf losses occurring at different developmental stages of the plant, on the chemical composition of seeds and leaves of the plant was determined. Because of the evaluation made in terms of developmental periods, it was observed that the amount of nutrients in both the seed and the leaf decreased because of leaf loss, especially at the beginning of the generative period. It was determined that both seed and leaf K, Fe, Cu, Mn, and Na contents increased with the increase in damage rate of leaf damage applications. As a result of the study,

it has been observed that the peanut plant will protect itself from possible leaf damage by increasing the amount of nutrients and show resistance against the damage caused by abiotic and biotic leaf damage that occurs because of global climate change.

Acknowledgment

Part of the data in the study is taken from the first author's PhD thesis. We thank the Oil Seed Research Institute for providing genotypes, Hatay Mustafa Kemal University (HMKU) Coordinatorship of Scientific Research Projects for providing financial assistance (Project number: 19.M.045), HMKU Technology and Research & Development Center, Dr. Merve Olukman Sahin (PhD), and Mr. Serbay Bucak (MSc) for their help with nutrient analysis. This study has been presented as an oral presentation in the 7th Asia Pacific International Modern Sciences Congress. We'll always remember Mr. Serbay Bucak, who lost his life along with Dr. Celile Demirbilek Bucak (PhD) and their beloved kids Zehra and Yusuf due to the earthquake that struck Türkiye on February 6, 2023.

Conflict of Interest Statement

No conflict of interest was declared by the authors.

Contribution Rate Statement Summary of Researchers

Concept: M.Y., N.I., Design: M.Y., N.I., Data Collection or Processing: M.Y., C.B.S., Analysis or Interpretation: M.Y., C.B.S., N.I., Literature Search: M.Y., C.B.S., Writing: M.Y., C.B.S., N.I.

References

- Abadia J., Vazquez S., Rellan-Alvarez R., El-Jendoubi H., Abadia A., Alvarez-Fernandez A., Lopez-Millan AF. Towards a knowledge-based correction of iron chlorosis. *Plant Physiology and Biochemistry* 2011; 49(5): 471-482.
- Asibuo J., Akromah R., Adu-Dapaah HK., Safo-Kantanka O. Evaluation of nutritional quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) from Ghana. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 2008; 8(2): 133-150.
- Asik FF., Asik BB. Macro and micro element composition of some peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties in Turkey. *Journal of Agricultural Sciences* 2023; 29(1): 38-46.
- Arioglu HH. The oil seed crops growing and breeding. Adana-Turkey: Adana The Publication of University of Cukurova, Faculty of Agriculture; 2014.
- Arioglu H., Bakal H., Gulluoglu L., Bihter O., Cemal K. The effect of harvesting dates on some agronomic and quality characteristics of peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties grown as a main crop in Mediterranean region (Turkey). *Turkish Journal of Field Crops* 2018; 23(1): 27-37.

- Asar M., Yalçın S., Yücel G., Nadaroğlu Y., Erciyas H. Agricultural meteorology textbook. Ankara-Türkiye: Publication of DMI General Directorate Agricultural Meteorology Branch Directorate; 2007.
- Bolonhezi D., Santos RC., Godoy IJ. Manejo cultural do amendoim. In: Santos, RC. (Ed.). O agronegócio do amendoim no Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão. 2005; 2(6): 451-475.
- Brar MS., Singh B., Sekhon GS. Leaf analysis for monitoring the fertilizer requirements of peanut. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2008; 11(4): 335-346.
- Chonkar AK., Chandel AS. Effect of iron and molybdenum on nitrogenase activity and nitrogen fixation in soybean *Glycine max* grown in alluvial soils of North India. *Indian Journal of Agronomy* 1991; 36(1): 124-128.
- FAO. Food and agriculture data, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, (Accessed September 9, 2024).
- Gao L., Shi Y. Genetic differences in resistance to iron deficiency chlorosis in peanut. *Journal of Plant Nutrition* 2007; 30(1): 37-52.
- Gomez B. Degradation of vegetation and agricultural productivity due to natural disasters and land use strategies to mitigate their impacts on agriculture, rangelands and forestry. In *Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture: Impacts and Mitigation*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 2005.
- Hammons RO., Herman D., Stalker HT. Origin and early history of the peanut. USA: American Oil Chemists' Society Press; 2016.
- Fahad S., Adnan M., Saud S. Improvement of plant production in the era of climate change. USA: CRC Press; 2022.
- Isler N., Gozuyesil R. The problems of peanut cultivation in Osmaniye province detection. *Biotech Studies* 2016; 25(2): 36-41.
- Klongová L., Kysel' M., Fialková V., Fernández-Cusimamani E., Kovacik A., Ziarovska J. Utilization of cddp markers in analysis of genetic variability of *Arachis hypogaea* L. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 2023; e9884-e9884.
- Kolte SJ. Diseases of annual edible oilseed crops: Volume I: Peanut Diseases. USA: CRC Press; 2019.
- Liliane TN., Charles MS. Factors affecting yield of crops. Pakistan: Agronomy-climate change & food security; 2020.
- List GR. Processing and food uses of peanut oil and protein. In *peanuts genetics, processing, and utilization*. USA: American Oil Chemists' Society Press; 2016.
- Sivakumar MVK. Climate extremes and impacts on agriculture. *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate* 2020; 60(1): 621-647.
- Mupunga I., Mngqawa P., Katerere DR. Peanuts, aflatoxins and undernutrition in children in Sub-Saharan Africa. *Nutrients* 2017; 9(12): 1287.

- Ozcan M., Seven S. Physical and chemical analysis and fatty acid composition of peanut, peanut oil and peanut butter from COM and NC 7 cultivars. *Grasas y Aceites* 2003; 54(1): 12-18.
- Praveen B., Sharma P. A review of literature on climate change and its impacts on agriculture productivity. *Journal of Public Affairs* 2019; 19(4): e1960.
- Sabir A., Kucukbasmaci A., Taytak M., Bilgin OF., Jawshle AIM., Mohammed MM., Gayretli Y. Sustainable viticulture practices on the face of climate change. *Agricultural Research Technology Open Access Journal* 2018; 17(4):133-137.
- Sahin CB., Isler N. Effects of foliar fertilizer applications on leaf area, chlorophyll and nutritional content at different growth stages of soybean. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* 2022; 19(4): 712-723.
- Shubo W., Caibin W., Pinji Z., Xinhua G., Bo C., Mingxin W. Optimized disposition of intercropping date and planting density for wheat-peanut cropping system. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences* 2004; 26(4): 55-58.
- Smartt J. *The groundnut crop: A scientific basis for improvement*. UK: Springer Science & Business Media; 2013.
- Stalker HT., Tallury SP., Seijo GR., Leal-Bertioli SC. *Biology, speciation, and utilization of peanut species*. In *Peanuts*. USA: AOCS Press; 2016.
- Steel RGD., Torrie JH. *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach*. 2. ed. New York: McGraw-Hill Publication Company; 1980.
- Suleman D., Bashir S., Hassan Shah FU., Ikram A., Zia Shahid M., Tufail T., Hassan Mohamed M. Nutritional and functional properties of cookies enriched with defatted peanut cake flour. *Cogent Food & Agriculture* 2023; 9(1): 2238408.
- Taiz L., Zeiger E. *Plant physiology*. California: The Benjamin/Cummings Publishing; 2013.
- Terry RE., Jolley VD. Nitrogenase activity is required for the activation of iron-stress response in iron-inefficient T203 soybean. *Journal of Plant Nutrition* 1994; 17(8): 1417-1428.
- TUIK. Crop production statistics. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>, (Accessed September 9, 2024).
- Valko M., Morris H., Cronin MTD. Metals, toxicity and oxidative stress. *Current Medicinal Chemistry* 2005; 12(10): 1161-1208.

Seçilmiş Performans Kriterlerine Göre Hibrid Kompozitlerde Katman Seçiminde Bulanık TOPSIS Uygulanması

Çiğdem SARP KAYA^{1*}

¹Karabük Üniversitesi, Safranbolu Şefik Yılmaz Dizdar Meslek Yüksekokulu, Moda Tasarımı Bölümü, 78600, Karabük

¹<https://orcid.org/0000-0001-7710-1035>

*Sorumlu yazar: csarpkaya@karabuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.11.2024

Kabul tarihi: 05.03.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Kompozit yapılar

Isı ve ses yalıtımı

Bulanık TOPSIS yöntemi

Optimizasyon

ÖZ

Kompozit malzemeler, üstün özellikleri ve sağladıkları çeşitli avantajlar sayesinde inşaat, ulaşım, havacılık gibi birçok sektörde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışma, bu tür malzemeler için sektörlerdeki kullanım amacına yönelik önemli performans kriterlerini optimize etme sürecine odaklanmıştır. Çalışmada, günümüzde tek tek ya da kombinasyonları şeklinde kullanımı yaygın olarak tercih edilen üstün teknoloji ürünü üç farklı kumaş malzemesi (Bazalt, Aramid, Karbon) kullanılarak vakum infüzyon yöntemi ile 2 ve 3 katmanlı olarak kompozit plakalar üretilmiştir. Elde edilen 6 kompozit plakaya ait ısı yalıtımı, ses yalıtımı gibi özellikler üzerine ideal çözüme benzerlik sıra tercihi için Bulanık TOPSIS metodu kullanılarak en uygun alternatif belirlenmiştir. Bu yöntem, karar verici uzmanların kriterleri dilsel değişkenler kullanarak sınıflandırmasına olanak tanımaktadır. Analiz sonucunda, optimum kompozit malzemenin Karbon/Aramid/Bazalt kombinasyonuna sahip 3 katmanlı yapı olduğu belirlenmiştir.

Application of Fuzzy TOPSIS in Layer Selection in Hybrid Composites Based on Selected Performance Criteria

Research Article

Article History:

Received: 27.11.2024

Accepted: 05.03.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Composite structures

Heat and sound insulation

Fuzzy TOPSIS method

Optimization

ABSTRACT

Composite materials, due to their superior properties and various advantages, find widespread applications in numerous sectors such as construction, transportation, and aviation. This study focuses on the process of optimizing important performance criteria for the purpose of use in sectors for such materials. In the study, 2- and 3-layered composite plates were produced by vacuum infusion method using three different high-tech fabric materials (Basalt, Aramid, Carbon), which are widely preferred to be used individually or in combinations today. The most suitable alternative was determined by using the Fuzzy TOPSIS method for the order preference of similarity to the ideal solution on the properties such as heat insulation and sound insulation of the 6 composite plates obtained. This method enables decision-making experts to classify criteria using linguistic variables. As a result of the analysis, it was determined that the optimum composite material was a 3-layered structure with a Carbon/Aramid/Basalt combination.

To Cite: Sarpkaya Ç. Seçilmiş Performans Kriterlerine Göre Hibrid Kompozitlerde Katman Seçiminde Bulanık TOPSIS Uygulanması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 957-969.

1. Giriş

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen, çok kriterli karar verme süreçlerinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, kriter ağırlıklarını dikkate alarak pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatifi belirlemeyi amaçlar. İnsan yargılarının ölçülmesinde sayısal ifadelerin yetersiz kalması nedeniyle, TOPSIS yöntemi bulanık sayılarla genişletilmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme tekniklerinden birisidir. İlk olarak Chen ve Hwang (1992) tarafından geliştirilen bu yaklaşım, yamuk bulanık sayılardan faydalanmıştır. Daha sonraki çalışmalarda, üçgensel bulanık sayılar gibi farklı bulanık sayı türlerini kullanan yöntemler de geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, yöntemin belirsizlik ve subjektif değerlendirmelerin modellenmesini kolaylaştırmıştır (Tayyar, 2012). Bulanık TOPSIS yönteminin kullanım alanlarına bakıldığında çok farklı sektörlerde ve uygulama alanlarında geniş bir yelpazede kullanıldığı görülmektedir. Özellikle tedarikçi seçimi (Özçakar ve Demir, 2011), performans değerlendirme süreçleri (Karaatlı ve ark., 2016), risk analizi ve yönetimi (İşçi ve ark., 2024) ve personel seçimi (Değirmenci ve Ayvaz, 2016) gibi başlıca konularda yaygın olarak kullanım alanı olduğu belirtilmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi, alternatiflerin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olacak şekilde sıralanmasını sağlar. Pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerinin maksimum düzeyde optimize edildiği ve zarar kriterlerinin minimum seviyeye indirildiği durum olarak tanımlanabilir. Buna karşılık, negatif ideal çözüm, zarar kriterlerinin maksimum düzeye çıkarıldığı ve fayda kriterlerinin minimum seviyeye düşürüldüğü durumu ifade etmektedir (Özçakar ve Demir, 2011). Temel olarak TOPSIS yöntemi problemi çözer. Bu yöntemden farklı olarak kriterler hakkındaki subjektif değerlendirmeler dilsel değişkenler kullanılarak yapılır ve en uygun alternatif belirlenir. Bulanık TOPSIS yöntemi, sayısal değerler yerine sözel ifadelerin kullanılmasyla insan yargılarının modele daha doğru bir şekilde yansıtılmasını sağlayarak problemlere daha gerçekçi çözümler sunar. Yöntemde, karar kriterleri ve bunların ağırlıkları, "düşük," "çok düşük," "yüksek" gibi sözel ifadelerle değerlendirilir. Bulanık TOPSIS metodu, öncelikle değerlendirilecek alternatiflerin, bu alternatiflerin ölçüleceği karar kriterlerinin ve karar verici grubun tanımlanmasıyla başlar. Karar vericiler, alternatifleri ve kriterleri belirlenen sözel ifadelerle değerlendirir. Özellikle belirsizliğin bulunduğu ve karar vericilerin değerlendirmelerinde farklılıkların veya değişkenliklerin ortaya çıktığı durumlarda, bulanık TOPSIS yöntemi grup kararlarının daha tutarlı ve doğru bir şekilde verilmesine olanak tanır. Ayrıca, alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan karar kriterlerinin farklı ağırlıklara sahip olması, yöntemin temel özelliklerinden biridir (Gülsün ve Erdoğan, 2021). Kompozit malzemelerde de günümüzde çeşitli özelliklerin önceliklendirilmesi istendiğinde bu teknikten yararlanmak mümkündür. Literatürde tekstil ve birçok alanda bulanık TOPSIS yönteminin uygulanmış olduğu yayınlar incelenmiştir.

Öztürk (2011), yaptığı çalışmada, bulanık TOPSIS ve bulanık AHS tekniklerini incelemiştir. Mağaza zinciri bulunan bir işletmenin satış elemanı seçim süreci bulanık TOPSIS ile üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak değerlendirilirken, Bulanık AHS analiz yöntemi kullanılarak bir ekmek fabrikasının un ve ambalaj tedarikçisi değerlendirme süreci gerçekleştirilmiştir.

Soba ve ark. (2014), çalışmalarında alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Alışveriş merkezi kuruluş yeri için en uygun kuruluş yeri olarak, Uşak ilinde İzmir yolu üzeri belirlemişlerdir.

Nadaban ve ark. (2016) çalışmalarında, bulanık TOPSIS yöntemlerinin gelişimini anlatan bir derleme çalışması yapmışlardır.

Tekez (2018) çalışmasında, örme sürecinde hata türü ve etkileri analizi, bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, çeşitli mamul kumaş hataları (yağ lekesi, desen hatası, delik sayısı) “en kritik hata türleri” olarak tespit edilmiştir.

Karakış (2019) çalışmasında, özel okullarda öğretmen seçimi için bulanık TOPSIS yöntemi kullanmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi ile önerilen yöntemin karar destek modeli olarak başarılı bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür.

Ozbek ve ark. (2020) çalışmalarında, Türkiye hazır giyim sektörüne yönelik stratejiler geliştirmek için SWOT analizi ve bulanık TOPSIS yöntemini birlikte kullanmıştır. SWOT analizi ile sektörün güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri belirlenirken, bu verilerden hareketle stratejiler geliştirilmiş ve bulanık TOPSIS yöntemi ile bu stratejiler sıralanmıştır.

Nakiboğlu ve Bulgurcu (2021) çalışmalarında, bir tekstil işletmesinde tedarikçi seçimi problemi için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. En iyi hammadde tedarikçisinin seçimi alternatiflerin sıralanması ile belirlenmiştir.

Ali ve ark. (2020) çalışmalarında, tedarik zinciri yönetiminde bir tekstil firmasında tedarikçi seçimi problemi için yeni bir bulanık AHP-TOPSIS tabanlı karar destek sistemi uygulamışlardır. Önerilen bu yeni yöntem sayesinde, incelenen şirketin tedarik zinciri performansı artmış olup, diğer tekstil işletmelerinin de tedarikçi seçim süreçlerinde kullanılabilirliği görülmüştür.

Kizielewicz ve Baczkiewicz (2021) çalışmalarında dört farklı bulanık çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemini (Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Bulanık WASPAS ve Bulanık MMOORA) karşılaştırmalı bir konut seçimi problemi için analiz etmiştir.

Ömürgönülşen ve Menten (2021) yılındaki çalışmalarında, bulanık TOPSIS metodunu uygulayarak belirli bir afet türü yerine, olası tüm afet senaryolarına odaklanmışlar ve Ankara ili özelinde, afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi için alternatiflerin sıralamasını yapmışlardır.

Sumo ve ark. (2022), yaptıkları çalışmalarında Liberya ve Afrika'da ikinci el giysi (SHC) ticaretinin önemini değerlendirmiş ve SHC perakendeciliği için kriterleri belirlemek amacıyla AHP, bulanık mantık, Ensemble ve TOPSIS yöntemlerini entegre eden bir SWOT çerçevesi geliştirmişlerdir.

Tursun ve Özkoç (2022) çalışmasında, 2000-2020 yılları arasında tedarikçi seçimi kararına yönelik olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı araştırmaları incelemiştir. Bu doğrultuda, çeşitli çalışmaların belirli kategorilere ayrılarak analiz edilmesini mümkün kılan içerik analizi ve bibliyometrik analiz yöntemlerinden faydalanılmıştır. Çalışmada, yayınlanan makalelerde çok kriterli karar verme yöntemlerinden bulanık TOPSIS metodunun %6,55 oranında kullanıldığını bildirmişlerdir.

Dawood ve ark. (2024) çalışmalarında, Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi (SSCM) entegrasyonunu sağlamak için kritik kolaylaştırıcıları belirlemek amacıyla ve bunları değerlendirmek amacıyla Fuzzy-DEMATEL ve Fuzzy-TOPSIS yöntemlerini kullanarak analiz etmiş ve öncelik sıralaması yapmıştır.

Kompozit malzemeler, yüksek performansın tek bir materyalde istendiği yapılardır. Kompozit malzemelerde takviye malzemeler parçacık, kısa lif, doğrusal sürekli lifli yapılar ve kumaş gibi çeşitli formlarda bulunabilmektedirler. Kompozit yapılarda tek veya çok katmanlı kumaş yapıları kullanılabilir. Ulaşım, yapı-inşaat gibi alanlarda tekstil formundaki bu kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Tekstilde kullanım alanı bulmaya başlayan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin, termal özelliklerinin, yalıtım özelliklerini tespit eden birçok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmada, bazalt, aramid, karbon kumaş takviye kullanılarak 2 ve 3 katmanlı olarak vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş 6 farklı kompozit plaka için seçilmiş ısı ve ses yalıtımı parametrelerine bulanık TOPSIS metodu uygulanmıştır. Uygulanan yöntem ile alternatifler sıralanarak, özellikler için en uygun alternatif belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak bazalt, aramid, karbon kumaştan katmanlı olarak elde edilen kompozitlerin seçilmiş özelliklerinin önceliklendirilmesi ile önem ağırlıklarının verilmesi ile birinci sırada yer alacak alternatifin bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenmesi, tekstil sektöründe kullanımı açısından yenilikçi bir yaklaşımdır.

2. Materyal ve Metot

Kompozit malzemelerde takviye tekstil yapısı, filament lif demetlerinin (3K, 12K vb.) bezayağı örgü yapısında dokuma yöntemi ile kumaş formuna sokulması, bunların çeşitli kompozit üretim yöntemlerinden biri ile üretilerek tekstilde ve birçok endüstride (yapı, havacılık vb) de kullanım alanı bulması kompozit ürünlerinin çeşitli özelliklerinin kullanım alanına göre önceliklendirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle bu çalışmada aramid, bazalt ve karbon materyalleri kumaş formunda kullanılmıştır. Kullanılan kumaşların m² ağırlıkları 200 g/m² olarak temin edilmiştir (www.kompozitshop.com/Türkiye). Karbon kumaş mekanik özellikleri, termal iletkenlik 17 W/m, elyaf çapı 7 µm, yoğunluk, 1,76 g/cm³'tür. Kumaşlar filament demetlerinden bezayağı formunda üretilmiş olup, bu çalışmada karbon kumaş ve bazalt kumaş sıklığı 1 adedi 3K olmak üzere 5 adet / cm şeklindedir. Aramid kumaş Atkı ve çözgü elyaf özellikleri, Twaron 930 dtex 10,5 x 10,5 ± 0,3'tür. Kumaş kalınlıkları 0,75±0,25 mm'dir. Aramid (A), Bazalt (B) ve Karbon (K) kumaşlar kompozitte takviye bileşeni olup, farklı katmanlarda bulunmaktadır ve katmanlı yapılar; 3 katmanlı KAB, AKB, ABK ve 2 katmanlı AB, BK, KA (Alternatifler) şeklindedir. Kompozitin matris bileşeni için epoksi reçine ve sertleştiricidir. Kumaş/Reçine oranı 70/30'dur. Çalışmada kullanılan hibrid kompozit plakalar vakum infüzyon metodu ile üretilmiştir. Bulanık TOPSIS metodu için, alternatifler 6 farklı kompozit plaka, seçilen kriterler ısı yalıtımı ve ses yalıtımı, uzman sayısı üç adet şeklinde belirlenmiştir. Hibrid tekstil kompozitlerinin ısı ve ses izolasyonu giyim amaçlı değildir. Çalışma ortamından beklenen ısı 25 °C ve ses düzeyi ise 80 dB'dir. Üretilen kompozitler yalıtım malzemesi olduğu için kompozit plakalardan beklenen performans dış ortamdan gelen

yüksek ısı ve sesin iç ortama iletilmemesi ya da iletimin azaltılmasıdır. Karar vericiler farklı görüşlerle buna yönelik puanlama yaptıkları kabul edilmiştir. Kriterlerin karşılaştırmaları üç uzman tarafından yapılmış ve kriter önem ağırlıkları hesaplandıktan sonra Bulanık TOPSIS yöntemiyle alternatifler için yakınlık katsayısı hesaplanmış ve alternatifler arasında seçim ve sıralama yapılmıştır. Bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan ve Chen (2000) tarafından geliştirilen, alternatifler ve kriterler için belirlenen üçgen dilsel değerlendirmeler Tablo 1’de verilmiştir (Tekez, 2018; Karakış, 2019; Chen, 2000). Çok kötü için 0, Çok iyi için 10 verilerek 0-10 arasında bir derecelendirme alternatifler için, Çok düşük için 0, Çok yüksek için 10 verilerek 0-10 arasında bir derecelendirme de kriterler için uzmanlar tarafından puanlamada kullanılır.

Tablo 1. Alternatiflerin ve Kriterlerin Değerlendirilmesindeki Sözel ifadeler ve Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları (Chen, 2000)

Alternatifler için		Kriterler için	
Sözel İfade	Üçgen Bulanık Sayı	Sözel İfade	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü (ÇK)	(0; 0; 1)	Çok Düşük (ÇD)	(0; 0; 0,1)
Kötü (K)	(0; 1; 3)	Düşük (D)	(0; 0,1; 0,3)
Biraz Kötü (BK)	(1; 3; 5)	Biraz Düşük (BD)	(0,1; 0,3; 0,5)
Orta (O)	(3; 5; 7)	Orta (O)	(0,3; 0,5; 0,7)
Biraz İyi (Bİ)	(5; 7; 9)	Biraz Yüksek (BY)	(0,5; 0,7; 0,9)
İyi (İ)	(7; 9; 10)	Yüksek (Y)	(0,7; 0,9; 1,0)
Çok İyi (Çİ)	(9; 10; 10)	Çok Yüksek (ÇY)	(0,9; 1,0; 1,0)

Bulanık TOPSIS metodunun işlem adımları ve kullanılan eşitlikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Adım: Kriterlere ait sözel ifadelere yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması.

Karar vericilerin (KV1, KV2, KV3) her bir kriter için sözel ifadeye karşılık gelen üçgen bulanık sayısı bulunarak, kriterlerin önem ağırlıkları formül 1 kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{W}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_{ij}^1 + \tilde{w}_{ij}^2 + \dots + \tilde{w}_{ij}^K] \quad (1)$$

2. Adım: Alternatiflere ait sözel ifadeler yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması.

Karar vericilerin her bir alternatif için sözel ifadeye karşılık gelen üçgen bulanık sayısı bulunarak, alternatiflerin önem ağırlıkları formül 2 kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^K] \quad (2)$$

3. Adım: Bulanık Karar matrisinin oluşturulması.

Bulanık TOPSIS karar problemi için bulanık karar matris formatında formül 3’teki gibi ifade edilir.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (3)$$

4. Adım: Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulması.

Normalize edilmiş bulanık karar matrisinin her bir elemanı fayda (B) kriteri dikkate alınarak formül 4 ile hesaplanır.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad j \in B \quad c_j^* = \max c_{ij}, \quad \forall j \in B \quad (4)$$

5. Adım: Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

Normalize bulanık karar matrisinin hesaplanmasından sonra kriterlerin önem ağırlığının dikkate alınarak formül 5 kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi hesaplanır.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (5)$$

6. Adım: Bulanık pozitif ideal çözümlerin (A^+) ve negatif ideal çözümlerin (A^-) hesaplanması

Formül 6 ile kriterler için hesaplanmış ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisinde, her bir kriter için maksimum ve minimum değerler belirlenir.

$$\begin{aligned} A^+ &= \{v_1^+, v_2^+, \dots, \dots, v_n^+\} & \tilde{v}_j^* &= \max_i \{v_{ij3}\} \quad \text{ve} \quad \tilde{v}_j^- &= \min_i \{v_{ij1}\} \\ A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, \dots, v_n^-\}, \end{aligned} \quad (6)$$

7. Adım: Yakınlık katsayısının hesaplanması (d_i^* ve d_i^-)

Bu adımda alternatiflerin ideal çözüme yakınlıkları Vertex metodu kullanılarak formül 7-9 ile hesaplanır.

$$d_v(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (7)$$

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (8)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (9)$$

8. Adım: Alternatiflerin sıralanması (CC_i)

Alternatiflerin ideal çözüme yakınlık değerleri kullanılarak Formül 10 ile CC_i değerleri hesaplanır ve en büyükten en küçüğe doğru sıralama yapılarak, en uygun alternatif belirlenir (Karakış, 2019; Tekez, 2018; Öztürk, 2011).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \quad (10)$$

3. Bulgular

Bulanık TOPSIS metodu, adım adım uygulanmış ve aşağıda tablolar halinde gösterilmiştir (Tablo 2-8). Öncelikle kriterler ve alternatifler için sözel ifadeler sayısal değerlere dönüştürülmüş, bulanık karar matrisi oluşturulmuş, normalize bulanık karar matrisi bulunmuş, ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi hesaplanmış, pozitif ve negatif ideal çözümler bulunarak, yakınlık katsayıları elde edilmiştir. En son olarak, alternatifler CC_i değerlerine göre büyükten küçüğe doğru 1'den 6'ya kadar sıralanmıştır.

1. Adım: Kriterlere ait sözel ifadelere yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması

Tablo 2'de, Isı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterleri için önem ağırlıkları, formül 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Isı yalıtımı kriteri için önem ağırlığı (0,8333; 0,9667; 1) ve ses yalıtımı kriteri için önem ağırlığı (0,3000; 0,5000; 0,7000) olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Karar vericiler tarafından dilsel değişkenlerle kriterlerin değerlendirilmesi ve önem ağırlıkları

Kriterler	KV1		KV2		KV3		Ağırlıklar					
Isı yalıtımı	0,9	1	1	0,7	0,9	1	0,9	1	1	0,8333	0,9667	1
Ses yalıtımı	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,5	0,7	0,9	0,3000	0,5000	0,7000

2. Adım: Alternatiflere ait sözel ifadeler yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması

Her kompozit plaka için karar vericiler ısı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterleri için önem puanlaması yapmışlardır. Her karar verici her bir kriter için 2 karar vermektedir. Toplamda bir kriter için 18 adet görüş bildirmişlerdir. Karar vericilerin kriterler için belirledikleri görüşler (üçgen bulanık sayı) için veri güvenilirliği karar vericilerin seçimi ile ilgili bir konudur. Karar vericilerin, konu ile ilgili uzmanlar olduğu kabul edilmiştir. Tablo 3'te alternatiflere (KAB, AKB, ABK, AB, BK ve KA) ait sözel ifadeler yargı değerlerinin verilmesi ile formül 2 kullanılarak önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Buna göre örnek olarak, KAB alternatifi için karar verici 1'in (KV1) ısı yalıtımındaki yargı değerinin önem ağırlığının (9;10;10) olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Karar vericiler tarafından dilsel değişkenlerle alternatiflerin değerlendirilmesi ve önem ağırlıkları

Alternatifler	KAB			AKB			ABK			AB			BK			KA																																						
	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3																																				
Isı yalıtımı	9	10	10	7	9	10	7	9	10	5	7	9	7	9	10	5	7	9	1	3	5	3	5	7	5	7	9	0	1	1	0	1	3	0	1	3	1	3	5	3	5	7	0	1	3	3	5	7	1	3	5	0	1	3
Ses yalıtımı	9	10	10	9	10	10	7	9	10	7	9	10	5	7	9	3	5	7	5	7	9	3	5	7	1	3	5	0	1	3	3	5	7	5	7	9	3	5	7	1	3	5	0	1	3	0	0	1	1	3	5			

3. Adım: Bulanık Karar matrisinin oluşturulması

Tablo 4’te formül 3 uygulandığında alternatifler ve kriterlerin bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 4’te örnek olarak ısı yalıtımı kriteri için KAB alternatifinin bulanık karar matrisindeki değeri (7,67; 9,33; 10,00) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	7,67	9,33	10,00	8,33	9,67	10,00
AKB	7,33	7,00	8,67	6,33	8,33	9,67
ABK	3,00	5,00	7,00	3,67	5,67	7,67
AB	0,00	1,00	2,33	1,33	3,00	5,00
BK	1,33	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
KA	1,33	3,00	5,00	0,33	1,33	3,00

4. Adım: Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulması

Formül 4 kullanılarak alternatifler ve kriterlerin normalize bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 5’te verilmiştir. Tablo 5’e bakıldığında örnek olarak, AKB alternatifinin ses yalıtımı kriteri için hesaplanan normalize bulanık karar matrisi değerinin (0,63; 0,83; 0,97) olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Normalize bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	0,77	0,93	1,00	0,83	0,97	1,00
AKB	0,73	0,70	0,87	0,63	0,83	0,97
ABK	0,30	0,50	0,70	0,37	0,57	0,77
AB	0,00	0,10	0,23	0,13	0,30	0,50
BK	0,13	0,30	0,50	0,30	0,50	0,70
KA	0,13	0,30	0,50	0,03	0,13	0,30

5. Adım: Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

Formül 5 kullanılarak alternatifler ve kriterlerin ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’da örnek olarak, AB alternatifinin ısı yalıtımı kriteri için hesaplanan ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi değerinin (0,00; 0,10; 0,23) olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	0,64	0,90	1,00	0,25	0,48	0,70
AKB	0,61	0,68	0,87	0,19	0,42	0,68
ABK	0,25	0,48	0,70	0,11	0,28	0,54
AB	0,00	0,10	0,23	0,04	0,15	0,35
BK	0,11	0,29	0,50	0,09	0,25	0,49
KA	0,11	0,29	0,50	0,01	0,07	0,21

6. Adım: Bulanık pozitif ideal çözümlerin (A^+) ve negatif ideal çözümlerin (A^-) hesaplanması
 Tablo 7’de formül 6 kullanılarak bulanık pozitif ideal çözümleri (A^+) ve negatif ideal çözümleri (A^-) hesaplanmıştır. Isı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterleri için, hesaplanan değerler içinde en büyük ve en küçük değerleri işaretlenmiştir. Buna göre ısı yalıtımı kriteri için en büyük-en küçük değeri (1,00 ve 0,00), ses yalıtımı kriteri için en büyük-en küçük değeri (0,70 ve 0,01)’dir.

Tablo 7. Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Hesaplanması (A^+ , A^-)

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	0,64	0,90	1,00	0,25	0,48	0,70
AKB	0,61	0,68	0,87	0,19	0,42	0,68
ABK	0,25	0,48	0,70	0,11	0,28	0,54
AB	0,00	0,10	0,23	0,04	0,15	0,35
BK	0,11	0,29	0,50	0,09	0,25	0,49
KA	0,11	0,29	0,50	0,01	0,07	0,21
A^+	1,00			0,70		
A^-	0,00			0,01		

7. Adım ve 8. Adım: Yakınlık katsayının hesaplanması (d_i^* ve d_i^-), Alternatiflerin sıralanması (CC_i)
 Tablo 8, formül 7-10 kullanılarak alternatif ve kriterlerin yakınlık katsayıları ve sıra değerleri hesaplanarak oluşturulmuştur. Elde edilen CC_i değerine göre alternatifler sıralandığında en büyük CC_i değerine sahip KAB alternatifinin olduğu görülmüştür.

Tablo 8. Yakınlık katsayının hesaplanması (d_i^* ve d_i^-), Alternatiflerin sıralanması (CC_i)

Alternatifler	Isı yalıtımı		Ses yalıtımı		Σd_i		CC_i	Sıralama
	d_i^*	d_i^-	d_i^*	d_i^-	Σd_i^*	Σd_i^-		
KAB	0,2159952	0,8606556	0,288354	0,502575	0,50	1,36	0,73	1
AKB	0,3019695	0,7262795	0,337106	0,462681	0,64	1,19	0,65	2
ABK	0,5536077	0,5118955	0,427547	0,347414	0,98	0,86	0,47	3
AB	0,8951329	0,1458183	0,535599	0,212995	1,43	0,36	0,20	6
BK	0,7174546	0,3398263	0,454129	0,313262	1,17	0,65	0,36	4
KA	0,7174546	0,3398263	0,610276	0,120015	1,33	0,46	0,26	5

4. Tartışma

Metodun uygulanışında, Bulanık TOPSIS uygulama adımları izlenmiştir. Üç adet uzman görüşü alınarak oluşturulan karar matrisi ile kriterlerin önem ağırlıklarına göre sözel ifadeler değerlendirilmiştir. Hesaplanan önem ağırlıklarına göre ısı yalıtımı kriteri, ses yalıtımı kriterine göre daha yüksek ağırlığa sahiptir. Sözel ifadeler bulanık üçgen sayılara çevrilmiştir. Matematiksel hesaplamalar kullanılarak, bulanık karar matrisi, normalize bulanık karar matrisi ve ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Her bir alternatif için bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüme olan yakınlıklar hesaplanmıştır. Son adımda, bulanık TOPSIS yaklaşımı ile ısı ve ses yalıtımı kriterlerinin hibrid kompozitlerde katman seçiminde Tablo 8'e göre, 1. sıralamada yer alan Karbon/Aramid/Bazalt alternatifinin en yüksek CC_i değerine sahip olduğu görülmektedir. Buna göre, katman yerleşim dizilimi en uygun seçenek 1. alternatif olacaktır. Bu çalışma her ne kadar 3 ve 2 katmanlı numuneleri toplu değerlendiriyor gibi gösterse de Tablo 8'de görüleceği üzere en uygun olanı bir sıralamaya koymuştur. Gerçekte malzemeler seçileceği zaman en uygun seçimin sıralı olması büyük önem taşır. 3 katmanlı yapının tercih edilmeyeceği durumda 4. Sırada yer alan aramid kumaşın olmadığı seçenek Bazalt/Karbon (BK) seçeneğinin kullanılabilmesinin tespiti uygulamada stratejik olarak tercih edilebilir.

Alternatiflerin nitelikleri bakımından birbirine son derece yakın olduğu ve karar almanın güç olduğu konularda, Bulanık TOPSIS yöntemi uygulaması karar alma sürecini kolaylaştırmakta bir yöntem olarak uygulanabilir (Ömürgönülşen ve Menten, 2021). Bu çalışmada, Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilerek yöntemin her bir alternatif ve kriterin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesine olanak tanımış, karar vericilerin de görüşlerinin sürece dahil edilmesi ile optimum sonuç için alternatifler sıralanmıştır.

5. Sonuç

Kompozit malzemelerde, kullanım amacına uygun özelliklerin optimize edilmesi, malzemenin performansı ve verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçte, kompozitin tasarımını şekillendiren seçim kriterleri, malzemenin istenen özelliklere ulaşmasında belirleyici bir rol oynar. Bu çalışmada katmanlı kumaş takviyeli epoksi kompozit plakalarda ısı yalıtımı, ses yalıtımı seçim kriterleri olarak belirlenmiştir. Toplamda 6 adet 3 katmanlı ve 2 katmanlı üretilen kompozit plakalar alternatifleri oluşturarak, karar vericilerin kriterler ve alternatifler üzerindeki dilsel ifadeleri, sayısal ifadelere dönüştürülerek bulanık TOPSIS metodu uygulanmıştır. Klasik TOPSIS metodunda uzman karar vericiler kriterlere kompozitin kullanım alanına/amacına göre ağırlık tanımlar. Ancak bulanık TOPSIS metodunda 1. Adımda bu ağırlıklar dilsel ifadelerin sayısal karşılıkları ile metod tarafından hesaplanarak belirlenir. Buna göre ısı ve ses yalıtımı kriterinin önem ağırlıkları belirlenmiş olup ısı iletimi tekstil bazlı kompozit malzemeler için daha önemli bir parametre olarak hesaplanmıştır. Daha sonra ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi hesaplanmış, pozitif ve negatif ideal çözümler bulunarak, yakınlık katsayıları elde edilmiştir. En son olarak, alternatifler CC_i değerlerine göre büyükten küçüğe doğru 1'den 6'ya kadar sıralanmıştır. Çalışma sonucunda en büyük CC_i değerine sahip (0,73), en uygun kompozit plakanın katman

sıralamasının Karbon/ Aramid / Bazalt kompozit plaka (1. Alternatif, KAB) olduğu görülmüştür. 2. en uygun alternatifin ise 0,45 CC_i değerine sahip Aramid /Karbon/ Bazalt kompozit plaka (2. Alternatif, AKB) olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile kompozit malzemelerde kullanılan Karbon, Aramid ve Bazalt kumaş katmanlarında ısı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterlerinin karar vericiler tarafından verilen dilsel ifadelerle göre belirlenen ve hesaplanan önem ağırlıkları ile hangi katman sıralaması ile üretim yapılması gerektiğine yönelik bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimince desteklenmiştir. Proje ID: KBÜBAP-23-ABP-136.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- Ali SM., Burney SA., Khan SY. Fuzzy-AHP-TOPSIS: An integrated multi-criteria decision support system for supplier selection in Pakistan's textile industry. *Ijcsns* 2020; 20(4): 91.
- Chen CT. Extensions of the topsis for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems* 2000; 114, 1-9.
- Chen SJ., Hwang CL. Fuzzy multiple attribute decision making methods. In: *Fuzzy multiple attribute decision making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* 1992; 375. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-46768-4_5
- Dawood HM., Bai C., Zaman SI., Quayson M., Garcia C. Enabling the integration of industry 4.0 and sustainable supply chain management in the textile industry: a framework and evaluation approach. *IEEE Transactions on Engineering Management* 2024; 71; 14704-14717. doi: 10.1109/TEM.2024.3459922
- Değermenci A., Ayvaz B. Bulanık ortamda TOPSIS yöntemi ile personel seçimi: katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2016; 15(30): 77-93.
- Gülsün B., Erdoğan KN. Bankacılık sektöründe bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile finansal performans değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 25(1): 1-15. doi: 10.19113/sdufenbed.639972

- Hwang CL., Yoon K. Methods for multiple attribute decision making. In: Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 1981; vol 186. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-48318-9_3
- İşçi H., Baykara Z., Tülüce B. Bulanık TOPSIS ve bulanık AHP yöntemleri ile risk analizi örneği. ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi 2024; 6(1): 28-45.
- Karaatlı M., Ömürbek N., Işık E., Yılmaz E. Performans değerlemesinde DEMATEL ve bulanık TOPSIS uygulaması. Ege Academic Review 2016; 16(1): 49-64.
- Karakış E. Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS ile bütünleşik karar destek modeli önerisi: Özel okullarda öğretmen seçimi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2019; 53, 112-137.
- Kizielewicz B., Baçzkiewicz A. Comparison of Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Fuzzy WASPAS and Fuzzy MMOORA methods in the housing selection problem. Procedia Computer Science 2021; 192, 4578-4591. doi: 10.1016/j.procs.2021.09.236
- Nädäban S., Dzitac S., Dzitac I. Fuzzy TOPSIS: a general view. Procedia Computer Science 2016; 91, 823-831. doi: 10.1016/j.procs.2016.07.088
- Nakiboglu G., Bulgurcu B. Supplier selection in a Turkish textile company by using intuitionistic fuzzy decision-making. The Journal of The Textile Institute 2021; 112(2): 322-332. doi: 10.1080/00405000.2020.1747675
- Ozbek A., Pabuccu H., Esmer Y. Strategy development for the Turkish ready-made garment sector Using SWOT Analysis–Fuzzy TOPSIS Method. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2020; 4 (142): 15-22. doi: 10.5604/01.3001.0014.0928
- Ömürgönülşen M., Menten C. Bulanık TOPSIS yöntemi ile Ankara ili için olası afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi 2021; 7(1): 159-175. doi: 10.21324/dacd.691088
- Özçakar N., Demir H. Bulanık TOPSIS yöntemiyle tedarikçi seçimi. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi 2011; 22(69): 25-44.
- Öztürk B. Çok kriterli karar verme tekniklerinden bulanık TOPSIS ve bulanık analitik hiyerarşi süreci. Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 295, Bursa, Türkiye, 2011.
- Soba M., Şimşek A., Bayhan M. Bulanık TOPSIS yöntemi ile alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi: Uşak ilinde bir uygulama. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi 2014; 3(2): 103-132.
- Sumo PD., Ji X., Cai L. SWOT framework based on Fuzzy Logic, AHP, and Fuzzy TOPSIS for sustainable retail second-hand clothing in Liberia. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2022; 30(6): 27-44. doi: 10.2478/ftce-2022-0050
- Tayyar N. Pet şişe tedarikçisi seçiminde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yaklaşımı. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2012; 17(3): 351-371.

Tekez EK. Failure modes and effects analysis using fuzzy topsis in knitting process. *Textile and Apparel* 2018; 28(1): 21-26.

Tursun SS., Özkoç HH. Çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak tedarikçi seçim kararı ile ilgili yapılmış çalışmaların bibliyometrik analizi: 2000-2020. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi* 2022; 11(1): 64-82.

Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi

Hacer KAYA¹, Halit MAZLUM^{2*}

^{1,2}Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, 29000, Gümüşhane

¹<https://orcid.org/0000-0001-9024-8525>

²<https://orcid.org/0000-0001-6711-8503>

*Sorumlu yazar: hmazlum@gumushane.edu.tr

Derleme

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 18.09.2024

Kabul tarihi: 04.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Hayvansal gıda üretimi

Su ayak izi

Su yönetimi

Sığır eti

ÖZ

Su, insan sağlığının, çevresel sürdürülebilirliğin, endüstriyel üretimin ve gıda güvenliğinin en temel unsurudur. Yerkürede kullanılabilir tatlı su kaynakları toplam su kütesinin sadece %2.5'ini oluşturmaktadır. Dünya nüfusundaki hızlı artış, küresel ısınma, endüstriyel üretimdeki ilerlemeler ve bilinçsiz kullanım etkileriyle sınırlı olan tatlı su kaynakları azalmaktadır. Bu anlamda su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlayan “su ayak izi” kavramı ön plana çıkmaktadır. Su ayak izi, genel anlamıyla bir ürünün üretiminden tüketimine kadarki tüm aşamalarda gerekli olan tatlı su miktarını ifade eder. Dünya genelindeki tarımsal üretim içerisinde hayvansal ürünlerin üretimi su ayak izinin çok önemli bir kısmını (yaklaşık üçte birini) oluşturduğu bildirilmektedir. Bu çalışmada, et üretiminin su ayak izinin süt ve yumurta üretiminden fazla olduğu, et üretimi içerisinde de sığır etinin en yüksek paya sahip olduğu bildirilmiştir. Türkiye’de su ayak izinin sektörel dağılımında tarımsal faaliyetlerin %89 ile ilk sırada yer alması hayvansal gıda üretiminde su yönetiminin doğru yapılmasının ülkemiz açısından önemini ortaya koymaktadır. Gelecekte, küresel nüfus artışıyla birlikte hayvansal gıda üretiminin artışı ve üretim sistemlerinin gelişmesi muhtemeldir. Bu durumun mevcut tatlı su kaynakları üzerinde ek bir baskı oluşturacağı öngörülmektedir. Bu nedenle hayvansal gıda üretiminin tüm aşamalarında gerekli olan su miktarının ürün bazında bilinmesi suyun doğru yönetimi ve verimli kullanımı açısından oldukça önemlidir. Ayrıca düşük su ayak izine sahip yemlerin kullanılması, meraya dayalı hayvancılığın teşvik edilmesi, gıda israfının önlenmesi ve üretim zincirindeki tüm paydaşların bilinçlendirilmesi hayvansal üretimde su ayak izini azaltan ilave önlemler olarak sıralanabilir. Bu çalışmada su kullanımının yüksek olduğu hayvansal gıda üretiminde su ayak izinin önemi küresel ölçekte ve Türkiye özelinde değerlendirilmiştir.

Evaluation of Water Footprint in Animal Food Production

Reviews

Article History:

Received: 18.09.2024

Accepted: 04.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Animal food production

Water footprint

Water management

Beef

ABSTRACT

Water is fundamental to human health, environmental sustainability, industrial production, and food security. Available freshwater resources in the world constitute only 2.5% of the total water mass. Limited freshwater resources are in decline due to the rapid growth of the world's population, global warming, advances in industrial production, and unconscious use. In this sense, the concept of “water footprint”, which ensures the efficient use of water resources, comes to the fore. The water footprint generally refers to the amount of freshwater required at all stages of a product, from production to consumption. The production of animal products constitutes a significant part (approximately one-third) of the water footprint in agricultural production worldwide. In these studies, it has been reported that the water footprint of

meat production is higher than milk and egg production, and that beef has the highest share in meat production. The fact that agricultural activities rank first with 89% in Turkey's sectoral distribution of water footprint reveals the importance of proper water management in animal food production in. Türkiye Animal food production will likely increase, and production systems will develop with global population growth in the future. This situation is predicted to create additional pressure on existing freshwater resources. For this reason, it is very important to know the amount of water required at all stages of animal food production on a product basis in terms of proper management and efficient use of water. In addition, using feeds with low water footprint, encouraging pasture-based, livestock operations, preventing food waste and raising awareness of all stakeholders in the production chain can be listed as additional measures that reduce the water footprint in animal production. In this study, the importance of water footprint in animal food production, where water use is high, was evaluated on a global scale and specifically in Türkiye.

To Cite: Kaya H., Mazlum H. Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 970-984.

1. Giriş

Su, insan sağlığı, endüstriyel üretim, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından temel bir ihtiyaçtır. Yerkürede kullanılabilir tatlı su kaynakları toplam su kütesinin sadece %2.5'ini oluşturmaktadır (Matta ve Kumar, 2017; Mazlum, 2023). Küresel ısınma, hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve bilinçsiz kullanım etkileriyle sınırlı olan tatlı su kaynakları azalmakta veya kirlenmektedir (Güneş ve ark., 2023). Bu etkilerin bir sonucu olarak tüketilebilir doğal su kaynakları üzerindeki baskı günden güne artmaktadır (BESD-BİR, 2024). Bu tehlikeli durum tatlı su kaynaklarının korunmasına ilişkin farkındalığı arttırmış ve “su ayak izi” kavramını ön plana çıkarmıştır.

Su ayak izi, su kullanımını ölçmek, değerlendirmek ve insan faaliyetlerinin tatlı su kaynakları üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için yapılan bir ölçümdür (Hoekstra ve Hung, 2002). Bu yöntem, tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için bir araç olarak kullanılabilir. Bir ürünün su ayak izi, üretiminin tüm aşamalarında tüketilen veya kirlenen su miktarı olarak tanımlanır (Ibidhi ve Salem, 2020). Tarım, suyun en çok kullanıldığı (%70'den fazla) sektördür (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Gıda ve biyoyakıt taleplerindeki artışı karşılamak için tarımsal üretimin 2012 yılına kıyasla 2050 yılına kadar yaklaşık %50 oranında artabileceği bildirilmektedir (Mekonnen ve Gerbens-Leenes, 2020).

Dünya genelindeki tarımsal üretim içerisinde hayvansal ürün üretimi su ayak izinin çok önemli bir kısmını (yaklaşık üçte birini) oluşturmaktadır (Shrestha ve ark., 2024). Hayvan yemi olarak genellikle kuru veya yaş ot (örn., yonca, korunga, fiğ), buğday, arpa, mısır ve soya fasulyesi gibi yüksek mavi ve yeşil su ayak izine sahip ürünlerin kullanılması nedeniyle hayvansal gıdaların su ayak izi bitkisel gıdalara nispetle daha yüksektir (Dykiel ve ark., 2024). Hayvansal ürünler içerisinde et üretiminin su ayak izinin süt ve yumurta üretiminden fazla olduğu ve sığır etinin en yüksek payı oluşturduğu bildirilmektedir (Ibidhi ve Salem, 2020; Demir, 2023). Nüfus artışı, kentleşme ve artan gelirlerin etkisiyle hayvansal gıda talebinin artarak devam edeceği bildirilmektedir (Ran ve ark., 2016). Küresel

gıda güvenliğinin sağlanabilmesi ancak yeterli ve kaliteli suya erişimle mümkündür. Bu anlamda, hayvansal gıda talebinin artışına paralel olarak su güvenliğine ilişkin artan endişeler, hayvansal gıda üretiminde tüketilen suyun daha iyi yönetilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada su kullanımının yüksek olduğu hayvansal gıda üretiminde su ayak izinin önemi küresel ölçekte ve Türkiye özelinde değerlendirilmiştir.

2. Su Ayak İzi

“Su Ayak İzi” kavramı ilk kez 2002 yılında Arjen Hoekstra tarafından dile getirilmiş, daha sonra Su Ayak İzi Ağı (Water Footprint Network – WFN) ve Twente Üniversitesi tarafından tanımlanmıştır (Güneş ve ark., 2023). Su ayak izi kavramı, tüketim mallarına ilişkin su kullanımının bir göstergesidir. İnsanoğlunun su ayak izinin yaklaşık üçte birinin hayvansal ürünlerin üretimiyle ilgili olduğu bildirilmektedir (Bhagat ve ark., 2020). Su ayak izi, yalnızca su kullanımı ve kirliliğin miktarını değil, aynı zamanda konumlarını da coğrafi olarak göstermektedir. Su ayak izi genellikle mavi, yeşil ve gri su ayak izi olmak üzere üç bileşene ayrılır. Mavi su ayak izi, küresel mavi su kaynaklarından (yüzey ve yeraltı suyu) kullanılan tatlı su hacmidir (Çakmak ve Gökalp, 2015). Yeşil su ayak izi, küresel yeşil su kaynaklarından (toprakta depolanan yağmur suyu) buharlaşan suyun hacmidir. Gri su ayak izi, sulardaki kirliliği göstermektedir. Su kalitesi standartlarına uygun olarak, kirliliği bertaraf etmek için kullanılan tatlı su miktarının ölçüsüdür (Bhagat ve ark., 2020; Demir, 2023). Bazı bitkisel ürünlerin küresel yeşil, mavi ve gri su ayak izi, besin maddesi içeriği ve birim besin içeriği başına su ayak izi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bitkisel üretimin küresel su ayak izi ortalaması (Mekonnen ve Hoekstra, 2010)

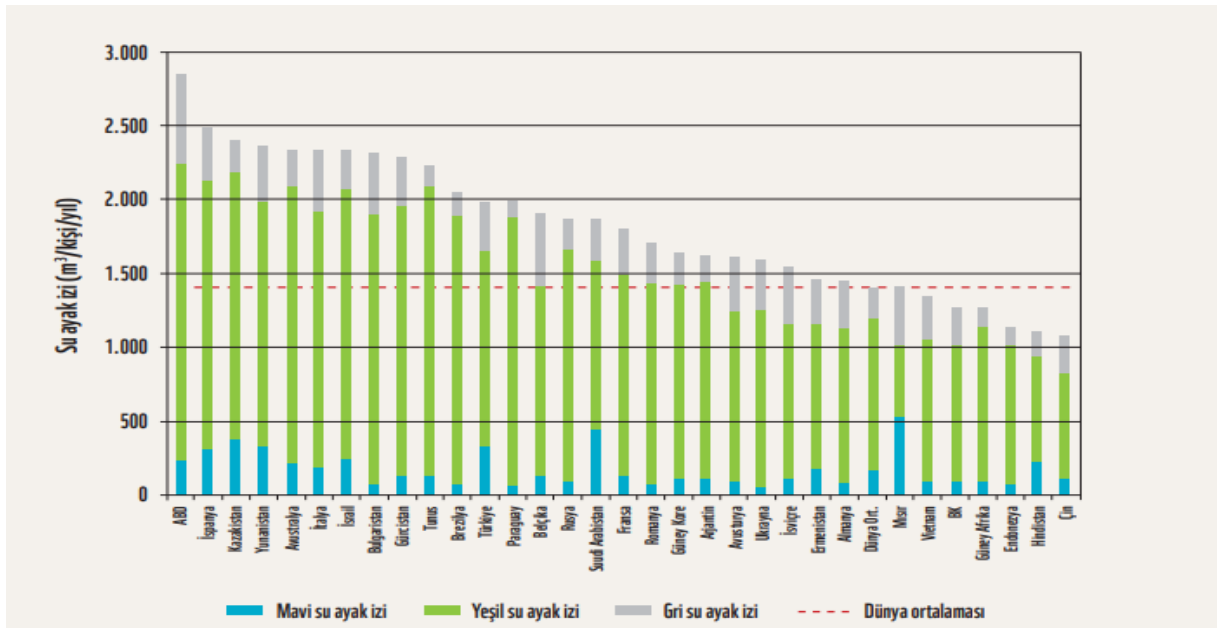
Birim ağırlık başına su ayak izi (L/kg)					Besin içeriği			Besin değeri birimi başına su ayak izi		
	Yeşil	Mavi	Gri	Toplam	Kalori	Protein	Yağ	Kalori	Protein	Yağ
					kcal/kg	g/kg	g/k	L/kcal	L/g	L/g
Sebzeler	194	43	85	322	240	12	2,1	1,34	26	154
Meyveler	726	147	89	962	460	5,3	2,8	2,09	180	348
Tahıllar	1232	228	184	1644	3208	80	15	0,51	21	112
Bakliyat	3180	141	734	4055	3412	215	23	1,19	19	180
Fındık	7016	1367	680	9063	2500	65	193	3,63	139	47
Kök yemler	130	52	15	197	285	0	0	0,69	0	0
Yumru yemler	327	16	43	387	827	13	1,7	0,47	31	226
Yağlı tohumlar	2023	220	121	2364	2908	146	209	0,81	16	11

Su ayak izi bireysel, sektörel veya coğrafi olarak küresel bazda hesaplanabilmektedir. Bir ülkede üretimin su ayak izinin hesaplanmasında, sadece o ülkenin mevcut su kaynakları hesaba katılır. Ancak, tüketimin su ayak izinin hesaplanmasında iç ve dış su ayak izi kavramı öne çıkmaktadır. Tüketimin iç su ayak izi, ülkede mal ve hizmet üretimi için tüketilen su kaynaklarının ölçüsüdür. Dış su ayak izi ise,

başka bir ülkede üretilen ve ithal edilen ürünlere harcanan suyun göstergesidir (Pegram ve ark., 2014). Örneğin, sınırlı su kaynaklarına sahip Kuzey Afrika, Meksika ve Orta Doğu ülkeleri ile sınırlı arazileri olan Japonya ve Singapur ithal ürünlere bağımlıdırlar (BESD-BİR, 2024).

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Su Ayak İzi

İnsan ve hayvanların ihtiyaçları için gerekli mal ve hizmetlerin tedarik yöntemindeki değişikliklerden dolayı ülkelerdeki tüketimin su ayak izinde büyük farklılıklar bulunmaktadır. Küresel ölçekte ortalama su ayak izi kişi başına 1385 m³ /yıl olarak bildirilmiştir (Demir, 2023). ABD’de kişi başına düşen yıllık ortalama su ayak izi 2842 m³, Çin’de ise 1071 m³’tür (BESD-BİR, 2024). Ülkelere göre tüketimin kişi başına düşen su ayak izi Şekil 1’de gösterilmiştir. Hindistan, Çin ve ABD, küresel ölçekte tatlı su kaynaklarının en büyük tüketicileridir. Bu üç ülke toplam küresel yeşil, mavi ve gri su ayak izinin %38’ini oluşturmaktadır (Mekonnen ve Gerbens-Leenes, 2020). Afrika ülkelerinin bazılarında (Nijerya, Çad, Sudan, Mali, Etiyopya vb.) ithalatın az olmasından dolayı dış su ayak izi düşüktür. Bununla birlikte Avrupa ülkeleri, toplam su ayak izinin %50-80’ini oluşturan dış su ayak izine sahiptirler (BESD-BİR, 2024). Türkiye’de su kaynakları kısmi olarak yeterli düzeyde olmakla (bazı bölgelerde su kıtlığı mevcut) birlikte son yıllarda su kullanımının artış eğilimleri nedeniyle gelecekte su kıtlığı yaşaması muhtemeldir. Yıllık ortalama 593 mm/m² yağış alan Türkiye, birçok Avrupa ülkesine göre su bakımından zengin olmadığı gibi Ortadoğu’daki komşu ülkelere göre aşırı su kıtlığı yaşayan bir ülke de değildir (FAO, 2016; Demir, 2023). Türkiye’de kişi başı su ayak izi 4500 litre/gün, iç su ayak izi %79, dış su ayak izi ise % 21’dir (Durmuş, 2021). Türkiye’de kişi başına su ayak izi yaklaşık 2000 m³/yıl ile dünya ortalamasının üzerindedir (Pegram ve ark., 2014).



Şekil 1. Ülkelere göre kişi başına düşen tüketimin su ayak izi (Pegram ve ark., 2014)

Türkiye’de tüketimin ve üretimin su ayak izi hemen hemen eşittir ve yaklaşık olarak %80’i iç su kaynaklarına dayanmaktadır (Turan, 2017). Türkiye’de üretimin su ayak izi yıllık yaklaşık 139.6 milyar m³’tür. Türkiye’de üretimden kaynaklanan yeşil, mavi ve gri su ayak izi oranları sırasıyla %64, %19 ve %17’dir. Dünyada sektörel olarak su ayak izinin %70’den fazlasını tarımın oluşturduğu bildirilmektedir (Ibidhi ve Salem, 2020). Türkiye’de üretimin su ayak izinin sektörel dağılımında tarımsal faaliyetler %89 ile ilk sırada yer almaktadır (WWF, 2014). Geriye kalanı %7 ile evsel ve %4 ile endüstriyel su ayak izi oluşturmaktadır (Pegram ve ark., 2014; WWF, 2014; Turan, 2017). Bitkisel üretimin su ayak izinin %38’sini tahıllar, %32’sini yem bitkileri, %13’ünü meyveler, %10’unu endüstri bitkileri, %5’ini yağ bitkileri ve %2’sini sebzeler ve baklagiller oluşturmaktadır (Pegram ve ark., 2014).

3. Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzi

Et, süt ve yumurta hayvansal gıdaların başlıcalarıdır. Hayvansal gıdalar hem yüksek protein içerikleri hem de sahip oldukları diğer biyolojik özellikleri ile insan hayatında vazgeçilemez bir öneme sahiptir (Saygın ve Demirbaş, 2018). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sağlıklı bir insanın vücut ağırlığının her bir kilogramı için, %42’sinin hayvansal kökenli olması koşuluyla, günde 1 g protein tüketmesi gerektiğini bildirmektedir (TİGEM, 2023). Su ayak izinin sektörel dağılımında tarımsal faaliyetler ilk sırada yer almaktadır (BESD-BİR, 2024). Tarımın toplam küresel su ayak izinin yaklaşık %27’sini hayvansal gıda üretimi oluşturmaktadır (Bhagat ve ark., 2020; Dykiel ve ark., 2024; Shrestha ve ark., 2024). Bu bakımdan hayvansal gıda üretiminde su yönetiminin doğru yapılması önemlidir.

Su, kümes ve çiftlik hayvanlarının vücut ağırlığının %50-80’ini oluşturur ve dipolar özelliği ile çözücüdür. Vücutta sıcaklığın dengelenmesi, sindirim ve metabolizmanın düzenlenmesi, sütün salgılanması, toksinlerin vücuttan atılması, ozmotik basıncın ayarlanması ve üreme gibi çok sayıda hayati önemde fonksiyona sahiptir (Cemek ve ark., 2011). Tüketilen su miktarı hayvanın türü, yaşı, ağırlığı, verim dönemi, yediği yemin özelliği ve barınma sistemine bağlı olarak değişmektedir (Cemek ve ark., 2011; Dykiel ve ark., 2024). Farklı hayvan türlerinin küresel ortalama su ayak izi Tablo 2’de verilmiştir. Hayvansal gıda üretimi için küresel su ayak izinin en büyük payı besi sığırlarının (%33) oluşturduğu ve bunu sırasıyla süt sığırları (%19), domuzlar (%19), yumurtacı tavuk ve etlik piliçler (%11) ile koyun (%3) takip ettiği görülmektedir. Hayvansal ürün üretimi için su ayak izi, yalnızca hayvanların doğrudan içtikleri suyu kapsamayıp, aynı zamanda yenilen yemin üretimi ve ürünün işlenmesinde kullanılan su miktarlarını da dikkate almaktadır (Demir, 2023).

Tablo 2. Hayvan türlerinin küresel su ayak izi (Mekonnen ve Hoekstra, 2012)

Hayvan türü	Hayvanın yaşam boyu ortalama su ayak izi (m ³ /hayvan)	Hayvanın yıllık ortalama su ayak izi (m ³ /yıl/hayvan)	Toplam su ayak izindeki payı (%)
Kanatlı	6	26	11
Koyun	141	68	3
Domuz	390	520	19
Et Sığırtı	1889	630	33
At	19189	1599	7
Süt Sığırtı	20558	2056	19

Hayvansal gıda üretimi temelde hayvanın tüketeceği yemin üretimi ile başlamaktadır. Hayvansal gıda üretim zincirinin her bir aşamasında su tüketimini ifade eden doğrudan ve dolaylı su ayak izi bulunmaktadır. Hayvansal ürünlerin toplam su ayak izindeki en büyük payı yemin üretim aşaması oluşturmaktadır. Hayvansal gıdaların su ayak izlerinin %98 kadarı yem üretimi için kullanılan su ile ilgilidir (Çalım, 2020). Yemin birim başına su ayak izi hayvanların ve ilgili ürünlerin su ayak izinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Herhangi bir hayvansal gıda çeşidinin su ayak izi hayvanların beslenme şekline büyük oranda etkilenmektedir. Küresel olarak, hayvan yemi toplam su ayak izinin ana bileşenlerini mera (%38), mısır (%17), yem bitkileri (%8), soya küspesi (%7), buğday (%6), arpa (%6) ve yulaf (%3) oluşturmaktadır (BESD-BİR, 2024).

Hayvansal gıda üretiminde su ayak izinin belirleyicisi olarak iki temel faktör dikkat çekmektedir. Bu faktörlerin ilki olan yemden yararlanma oranı (FCR) ya da yem dönüşüm oranı, bir birim hayvansal ürünün üretilebilmesi için hayvanın tükettiği yem miktarı olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel sistemlerde yetiştirilen hayvanlar daha konsantre yemlerle beslendikleri, daha az hareket ettikleri, daha hızlı büyüdükleri ve daha genç yaşta kesime sevk edildikleri için birim hayvansal gıda üretimi için daha az yem tüketmektedirler (Gerbens-Leenes ve ark., 2013). Öte yandan otlatmaya dayalı ekstansif sistemlerde hayvanlar kesim ağırlığına ulaşmak ya da bir birim ürün üretebilmek için daha uzun süreye ve daha fazla miktarda yem tüketimine gereksinim duymaktadırlar. Endüstriyel sistemlerde FCR, otlatma ve karma sistemlere kıyasla iyileşerek daha düşük su ayak izini oluşturur (Florek ve ark., 2017; Çalım, 2020).

Hayvanın günlük olarak tükettiği yemin bileşimi ve kaba yemin konsantre yeme oranı ikinci faktörü oluşturur. Konsantre yemlerin su ayak izi kaba yemlerden daha büyüktür (Florek ve ark., 2017) ve konsantre yem su ayak izi 1048 m³/ton iken kaba yemin su ayak izi 203 m³/ton'dur (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Genel olarak, konsantre yemler nispeten daha fazla mavi ve gri su ayak izine sahipken, kaba yemler, yan ürünler ve artıklar daha düşük su ayak izine sahiptir (Demir, 2023). Ayrıca kaba yemlerin genellikle yağmurla beslenmesi ve konsantre yem hammaddelerinin üretiminde daha sık sulanması, gübrenmesi gibi nedenlerle konsantre yemlerin yeşil su ayak izi kaba yemlerin 4.3 katı, mavi su ayak izinin 43 katı, gri su ayak izinin 61 katı ve toplam su ayak izinin ise 5.2 katıdır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010; Gerbens-Leenes ve ark., 2013). Gıda üretimi için genel olarak mavi ve gri su ayak izleri yeşil su ayak izine göre daha küçüktür ancak daha büyük bir çevresel etkiye sahiptirler (Dykiel ve ark., 2024). Yem ham maddeleri üretiminin küresel ortalama su ayak izi, şeker

pancarı (~200 m³/ton), sebzeler (~400 m³/ton), kök ve yumrular (~400 m³/ton), meyveler (~1000 m³/ton), tahıllar (~1600 m³/ton), yağlı tohum bitkileri (~2400 m³/ton) ve baklagillere (~4000 m³/ton) doğru artış göstermektedir (Mekonnen and Hoekstra, 2011). Bitkisel ürün gruplarını su ayak izlerine göre sebzeler < yumrular < meyveler < tahıllar < yağlı tohumlar < baklagiller < sert kabuklu meyveler şeklinde sıralamak mümkündür (Pekcan, 2017).

Rasyonda konsantre yem miktarının artmasına paralel olarak su ayak izi artış gösterir (Çalım, 2020). Otlatmaya dayalı üretim sistemlerinde düşük konsantre yem içeren bir besleme programı uygulanırken, endüstriyel sistemlerde yüksek konsantre yemle besleme uygulanmaktadır. Tatlı su kaynaklarının kullanımı göz önünde bulundurulduğunda, meraya dayalı sistemlerden elde edilen hayvansal ürünler, endüstriyel sistemlerden elde edilenlere tercih edilir (Dykiel ve ark., 2024). Öte yandan endüstriyel sistemlerde, daha fazla konsantre yem kullanılması nedeniyle de yem tüketimi azalıp FCR iyileşmektedir. Örneğin endüstriyel sistemlerde yetiştirilen kümes hayvanları otlatma sistemlerine kıyasla 3.2 kat daha az yem tüketmektedirler. Ayrıca kümes hayvanları için, endüstriyel sistemlerdeki yüksek FCR, otlatmaya göre daha düşük yeşil, mavi ve gri su ayak izine de neden olmaktadır (Demir, 2023). Kümes hayvanlarının su ayak izi hesaplamasında temel olarak FCR göz önüne alınmaktadır. FCR ve verim, otlatma ve karma sistemlerden endüstriyel sistemlere doğru giderek iyileşir ve kümes hayvanları diğer çiftlik hayvanlarına kıyasla daha küçük su ayak izine sahiptir (BESD-BİR, 2024). Bazı hayvansal gıdaların küresel ortalama yeşil, mavi ve gri su ayak izi (L/kg), besin maddesi içeriği (kcal/kg ve g/kg) ve birim besin içeriği başına su ayak izi (L/kcal ve L/g) Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Hayvansal üretimde küresel su ayak izi ortalamaları (Mekonnen ve Hoekstra, 2010)

Birim ağırlık başına su ayak izi (L/kg)	Besin içeriği			Besin değeri birimi başına su ayak izi						
	Yeşil	Mavi	Gri	Kalori	Protein	Yağ				
				kcal/kg	g/kg	g/kg	L/kcal	L/g	L/g	
Süt	863	86	72	1,021	560	33	31	1,82	31	33
Yumurta	2592	244	429	3265	1425	111	100	2,29	29*	33
Tavuk eti	3545	313	467	4325	1440	127	100	3	34	43
Tereyağı	4695	465	393	5553	7692	0	872	0,72	0	6,4
Domuz eti	4907	459	622	5988	2786	105	259	2,15	57	23
Koy/keç eti	8253	457	53	8763	2059	139	163	4,25	63	54
Sığır eti	14414	550	451	15415	1513	138	101	10,19	112	153

Tablo 3 incelendiğinde, küresel olarak et üretiminin su ayak izinin süt (1020 L/kg) ve yumurta (3265 L/kg) üretimi su ayak izinden fazla olduğu, et üretimi içerisinde de sığır etinin en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir. Bir kilogram sığır eti üretmek için yaklaşık 15000 litre yani 15 m³ suya ihtiyaç vardır. Bunun %93'ü yeşil, %4'ü mavi ve %3'ü gri su ayak izidir. Belirtildiği üzere, et için ortalama su ayak izi kanatlı eti (4325 L/kg), keçi eti (5521 L/kg) ve domuz etinden (5988 L/kg) koyun eti

(10412 L/kg) sığır etine (15415 L/kg) doğru artmakta olup bu durum kısmen farklı hayvan türlerinin farklı yemden yararlanma yetenekleri ile ilgilidir. Yemden yararlanma yeteneğinin büyükbaş hayvanlar için en düşük, kanatlı ve domuzlar için en yüksek olması sığır etinin yumurta, piliç ve domuz etinden çok daha yüksek su ayak izine sahip olmasını genel olarak açıklamaktadır (Ibidhi ve Salem, 2020; Demir, 2023; BESD-BİR, 2024). Yeşil, mavi ve gri su ayak izi tek mideli (kümes hayvanları ve domuzlar) ve ruminant hayvan (koyun, keçi ve sığır) eti için önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ruminant hayvan eti üretimi için daha yüksek oranda yeşil su ayak izi ve daha düşük oranda mavi ve gri su ayak izi meydana gelmiştir. Tek midelilerde mavi ve gri su oranının daha yüksek olmasının daha fazla tahıl ve konsantre yem tüketmeleriyle ilgili olduğu belirtilmektedir (Dykiel ve ark., 2024).

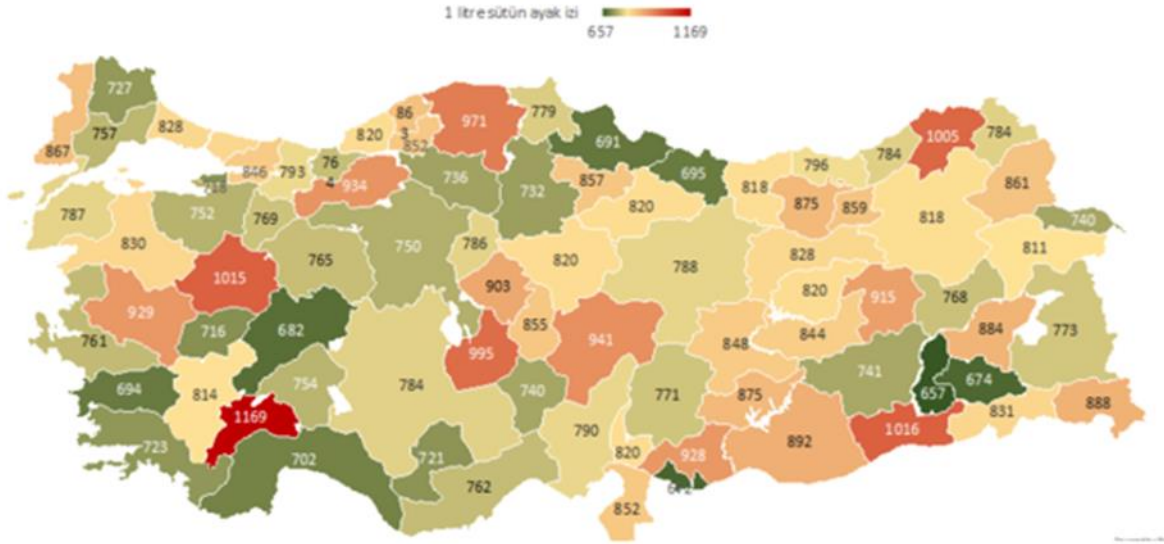
Su ürünleri dışındaki hayvansal gıdalar su ayak izlerine göre süt < yumurta < tavuk eti < tereyağı < peynir < domuz eti < keçi eti < koyun eti < dana eti şeklinde sıralanırken (Güneş ve ark., 2023) hayvansal protein üretimi için bu gıdalar, su ayak izlerine göre yumurta < süt < tavuk eti < domuz eti < koyun/keçi eti < sığır eti şeklinde sıralanmaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Hayvansal gıdalar arasında en düşük küresel ortalama su ayak izi 1020 L/kg ile süte ait olup bunu 3265 L/kg ile yumurta takip etmektedir. Ancak 1 gram süt proteini üretimi için 31 L su sarf edilirken 1 gram yumurta proteini üretimi için 29 L su sarf edilmektedir (Tablo 3). Bu bakımdan su ürünlerini göz ardı etmek koşuluyla en az su ile üretilen hayvansal protein kaynağının yumurta, en fazla su ile üretilen hayvansal protein kaynağının da dana eti olduğunu söylemek mümkündür. 1 kg yumurtanın otlatma sisteminde üretimi için 7644 L, karma sistemde 3863 L, endüstriyel sistemde 2872 L ve ortalama 3265 L su harcadığı belirtilmiştir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Ortalama 60 g'lık bir adet yumurtanın otlatma sisteminde üretimi için yaklaşık 460 L, karma sistemde 232 L, endüstriyel sistemde 172 L ve ortalama 196 L su harcanmaktadır. Buna göre su tüketiminin düşüklüğü bakımından hayvansal gıdalar arasında endüstriyel sistemde üretilen yumurtanın lider olduğu söylenebilir. Öte yandan balık ve balıkçılıkta su ayak izinin 1974 m³/ton (%83 yeşil, %9 mavi ve %8 gri su) olduğu bildirilmektedir (Pahlow ve ark., 2015).

Türkiye'de farklı üretim sistemlerinde yetiştirilen besi sığırı ve işlenmemiş et ürünlerinin su ayak izi Tablo 4'te verilmiştir (FAO, 2016). Tablo 4 incelendiğinde Türkiye'deki endüstriyel sistemde besi sığırı yetiştirme ve et işlemede kullanılan mavi, yeşil ve gri su miktarlarının, otlatma ve karma sistemlerin uygulandığı besicilikte harcanan mavi, yeşil ve gri su miktarlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Öte yandan, Türkiye'deki sığır eti üretimi için hem mavi, yeşil ve gri su ayak izi hem de toplam su ayak izi küresel sığır eti üretimi için kullanılanlardan daha yüksektir. Türkiye sığır yetiştiriciliği ve et işlemede harcanan su ayak izi ortalaması dünya ortalamasının üzerindedir (Demir, 2023).

Tablo 4. Türkiye’de farklı üretim sistemlerinde yetiştirilen besi sığırları ve işlenmemiş et ürünlerinin su ayak izi değerleri (L/kg)(FAO, 2016)

Ürün	Ayak izi	Otlatma	Karma	Endüstriyel	Türkiye ağırlıklı ortalama	Dünya ağırlıklı ortalama
Sığır (canlı)	Mavi	316	330	650	369	256
	Yeşil	10596	7318	5690	8383	7002
	Gri	268	257	642	313	219
	Toplam	11180	7905	6982	9065	7477
Sığır karkası	Mavi	537	560	1088	627	389
	Yeşil	17502	12088	9399	13910	10234
	Gri	443	425	1061	519	320
	Toplam	18482	13073	11548	15056	10943
Kemiksiz sığır eti	Mavi	759	792	1536	886	550
	Yeşil	24650	17025	13239	19591	14414
	Gri	623	599	1494	731	451
	Toplam	26032	18416	16269	21209	15415
Sığır eti ve sakatatları	Mavi	810	845	1639	942	660
	Yeşil	26311	18172	14131	20817	17388
	Gri	665	639	1595	777	544
	Toplam	27786	19656	17365	22536	18592

Küresel hayvansal üretimin toplam su ayak izinin yaklaşık 470 milyar m³/yıl su tüketimi ile %19'lük kısmını süt sığırlarının oluşturduğunu bildiren Mekonnen ve Hoekstra (2012), 1 L sütün otlatma sisteminde üretimi için 1191 L, karma sistemde 956 L, endüstriyel sistemde 1207 L ve ortalama 1020 L su harcadığını; 1 kg tereyağının otlatma sisteminde üretimi için 6484 L, karma sistemde 5204 L, endüstriyel sistemde 6571 L ve ortalama 5553 L su harcadığını; 1 kg peynirin otlatma sisteminde üretimi için 5905 L, karma sistemde 4743 L, endüstriyel sistemde 5983 L ve ortalama 5060 L su harcadığını belirtmişlerdir. Şekil 2’de Türkiye’de illere göre inek sütünün su ayak izi verilmiştir. Bir litre inek sütü üretiminin 2018 yılı için yeşil ve mavi su ayak izi toplamının ortalama 806 L olduğu ve Türkiye’de yaygın olarak tüketilen diğer bazı süt ürünlerinin ise 1 kg beyaz peynir için 2300 L, 1 kg yoğurt için 1080 L ve 1 kg tereyağı için 4850 L su ayak izi olduğu rapor edilmiştir (Ercin, 2020). Türkiye’de üretilen sütün su ayak izinin yaklaşık %82’sinin yeşil, %18’inin de mavi su kaynaklarından karşılanması, üretilen süt ve süt ürünlerinin (tereyağı, peynir ve yoğurt) su ayak izinin dünya ortalamasının altında olmasını açıklamaktadır. Öte yandan Türkiye’de sığır sütü üretim çiftliğinde yapılan bir çalışmada toplam su ayak izi 1.176.060,43 m³/yıl olarak bulunmuş ve toplam su ayak izinin %96’sı (1131797 m³/yıl) yem, %2.5’i (35188 m³) servis suyu, %1’i (5499 m³) enerji tüketimi ve %1’in altında (3120 m³) gübreden oluştuğu ve 1 litre süt üretimi için 1077 litre su tüketildiği bildirilmiştir (Durmuş, 2021).



Şekil 2: Türkiye'de iller göre inek sütü su ayak izi (L/L) (Ercin, 2020)

Sanayi, enerji üretimi, yiyecek-ıçecek ve hazır giyimden turizme kadar hemen her sektör gibi genelde tarım, özelde ise hayvansal gıda üretiminin sürdürülebilirliği de büyük oranda suyun varlığına bağlıdır (Ercin, 2020). Bu durum hayvancılık sektörünü su kıtlığı ve kirliliği ile iklim değişikliği gibi su kaynaklı sorunlara karşı hassas hale getirmektedir. Ancak küresel olarak zaten azalmakta olan tatlı su miktarının iklim değişiklikleri nedeniyle gelecekte daha da azalacağı ve sorunların artacağı bildirilmektedir (Palhares ve Pezzopane, 2015). Öte yandan kullanılabilir kaliteli suyun azalması, artan talep ve rekabetin yanı sıra iklim değişiklikleri kaynaklı olarak yoğun yağış ve aşırı su nedeniyle de hayvansal gıda üretiminde azalma meydana geleceği bildirilmektedir (Ercin, 2020).

Tarım, küresel tatlı su kullanımının neredeyse %70'ini oluşturmaktadır (Ridoutt ve ark., 2012) ve küresel tatlı suyun yaklaşık 1/3'ü et ve diğer hayvansal gıda üretimi ile ilişkilidir (Mekonnen ve Hoekstra 2012). Başta kırmızı et olmak üzere üretiminde yüksek miktarlarda su gerektiren hayvansal gıda üretim ve tüketiminden insanlar vazgeçebilirler mi? Hayvansal gıdalar tedarik zinciri boyunca önemli düzeylerde su tüketicisidirler ancak aynı zamanda sahip oldukları biyolojik özellikler nedeniyle de insanların beslenmelerinde hayati öneme sahiptirler. Sağlıklı ve dengeli beslenmek için günlük tüketilmesi gereken proteinin yarısı ya da en az %40-45'inin biyolojik değerliliği yüksek olan hayvansal protein ile karşılanması gerekmektedir (Aksoy ve ark., 2000). Amino asit oranlarına göre saptanan biyolojik değerliliğin en yaygın ölçüsü olan net protein kullanımı, yumurta için 100 olarak alındığında domuz eti 84, sığır eti 80, inek sütü 75, balık 83, pirinç 67, buğday unu 52, mısır 56 ve baklagillerin 47 olduğu ve hayvansal proteinlerin net kullanım ölçüsünün bitkisel proteinlerden çok daha üstün olduğu bildirilmektedir (Oğan ve ark., 2011). A vitamini, B-12 vitamini, riboflavin, kalsiyum, demir ve çinko gibi mikro besin maddelerinin orta süreli yetersiz alımı anemi, azalan çalışma kapasitesi, gece körlüğü ve büyüme geriliğine yol açarken uzun süreli düşük alımı raşitizm, bilişsel performansta bozulma, körlük, nöromusküler ve psikiyatrik bozukluklar ile ölüm gibi daha ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bitkisel gıdaların aksine hayvansal gıdalar bu mikro besin

maddelerinin tamamı bakımından özellikle zengin kaynaklar olduğu ve vejetaryen bir diyetle eklenen bu gıdaların nispeten küçük miktarlarının bile besin yeterliliğini önemli ölçüde artırdığı bildirilmektedir (Murphy ve Allen, 2003). Bu nedenlerle fazla su tüketen hayvansal gıda ürünleri yerine, su ayak izi daha düşük olan bitkisel gıdaların tam bir alternatif olarak sunulmasının sağlıklı beslenme açısından uygun olmadığı düşünülmektedir.

Bazı tüketim ürünlerinin su ayak izi Tablo 5'te görülmektedir. Günde ortalama 4 trilyon litre su tüketiminin yapıldığı tahmin edilen tekstil endüstrisi, tarımdan sonra su ayak izi en büyük olan 2. sektör olup hızlı tüketim, çok tüketim ve daha çok tüketim alışkanlığına yönlendiren moda sektörü ile ilintilidir. Tablo 5'te görüldüğü gibi 1 çift deri ayakkabı üretimi için 8000 L, 1 adet T-shirt için 2500 L, 1 adet Jean pantolon üretimi için 10850 L su gerekirken 1 ton tekstil kumaşı üretimi için de yaklaşık 230 ton su tüketimi yapılabilmektedir (Anonim, 2024). Bu bilgiler doğrultusunda, kıtlığı, kirliliği ve aşırı kullanımı sosyal, çevresel ve ekonomik sorunlara yol açtığı için günümüzde giderek daha da değerli hale gelmiş olan tatlı su kaynaklarının rasyonel kullanımı dikkate alınmalı (Dykiel ve ark., 2024) ve başta 2.5 trilyon dolarlık hazır giyim ve moda sektörü (Anonim, 2024) olmak üzere sanayi, enerji üretimi, imalat, yeme- içme, turizm vb. tüm sektörlerde olduğu gibi tarım ve hayvansal gıda üretim sektöründe de uygun stratejiler geliştirilmelidir (Ercin, 2020).

Tablo 5. Bazı ürünlerin su ayak izi (WWF, 2014; Anonim, 2024)

Ürün	Su ayak izi (L)
1 dilim ekme	40
1 bardak kahve (karton bardakta)	208
1 bardak çay	30
1 porsiyon pilav	150
1 adet küp şeker	7,5
1 paket patates cipsi (200 g)	185
1 hamburger	2400
1 adet portakal	50
1 bardak portakal suyu (200 mL)	170
1 adet A4 kağıdı	10
1 çift deri ayakkabı	8000
1 adet T-shirt	2500
1 adet Jean pantolon	10850
1 adet ceket	10000

4. Sonuç

Dünya genelindeki su ayak izinin büyük bir kısmını (\geq %70) tarımsal faaliyetlerin oluşturduğu, bunun da yaklaşık üçte birinin hayvansal üretimden kaynaklandığı bildirilmektedir. Hayvansal ürünlerin su ayak izinin değerlendirilmesinde ise, et üretiminin su ayak izinin süt ve yumurta üretiminden fazla olduğu, et üretimi içerisinde de sığır etinin en yüksek paya sahip olduğu görülmüştür. Önümüzdeki yıllarda Dünya nüfusunda beklenen artışa paralel olarak hayvansal gıda üretimi de artış gösterecektir.

Bu durumda üretim sistemlerinin daha da geliŒeceği ve tatlı su kaynakları üzerindeki baskının artacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte insanoğunun fazla su tüketen hayvansal gıda ürünlerinden, özellikle de etten vazgeçmesi veya protein ihtiyacını su ayak izi daha düşük olan bitkisel gıdalarla ikame etmesi söz konusu değildir.

Hayvansal gıda üretiminin özellikle de et üretiminin su ayak izi, üretim verimliliği ile yem üretiminin düşük su ayak izi arasında doğru dengenin bulunması sonucunda optimum düzeye indirilebilir. Bu amaçla, hayvansal gıda üretiminin tüm aşamalarında gerekli olan su miktarının ürün bazında bilinmesi suyun doğru yönetimi ve verimli kullanımı açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, düşük su ayak izine sahip yemlerin kullanılması, meraya dayalı hayvancılığın teşvik edilmesi, otlatmanın sistemli yapılması, kümes, barınak ve kesimhanelerin modernizasyonu, üretim zincirindeki tüm paydaşların bilinçlendirilmesi ve en önemlisi de dünya çapında gıda israfının önlenmesi hayvansal üretimde su ayak izini azaltan ilave önlemler olarak sıralanabilir. Öte yandan yüksek su ayak izi bulunan giyim ve moda sektörünün de hayvansal gıda sektörü gibi su ayak izini düşürmek için ciddi önlemler alması ve kullanımda hassasiyet göstermesi gerektiği düşünülmektedir. Zira giderek azalan tatlı su kaynaklarının kıtlığı, kirliliği ve israfı büyük sosyal, çevresel ve ekonomik sorunlara yol açma potansiyelindedir.

Bilgi

Bu çalışma, 15-17 Mayıs 2024 tarihleri arasında Bayburt Üniversitesi tarafından düzenlenen Uluslararası Tarım Bilimlerinde Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuş ve özet olarak basılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranlarda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Kaynakça

Aksoy A., Macit M., Karaoğlu M. Hayvan besleme ders kitabı. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 2000.

Anonim. Sürdürülebilir Moda - Suyun Sürdürülebilirliği. <https://www.vatekcevre.com/blog/surdurulebilir-moda-suyun-surdurulebilirliği-> (Erişim Tarihi: 10.06.2024)

BESD-BİR. Beyaz et üretiminde su ayak izi. <https://besd-bir.org/tr/evresel-etkiler> (Erişim Tarihi:19.04.2024)

- Bhagat S., Santra AK., Mishra S., Khune VN., Bobade MD., Dubey A., Yadav A., Soni A., Banjare S., Yadav G. The water footprint of livestock production system and livestock products: A dark area: A review. *International Journal of Fauna and Biological Studies* 2020; 7(1): 83-88.
- Cemek B., Çetin S., Yıldırım D. Çiftlik ve kümes hayvanlarının su tüketimi ve su kalite özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 2011; 4(1): 57-67.
- Çakmak B., Gökalp Z. Agricultural water use in Turkey and water footprint. In 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment, September 30 – October 3 2015, pp:279-284, Konya, Turkey.
- Çalım K. Su ayak izi nedir? Gıdalardaki miktarı ne kadardır? Akdeniz diyetinin etkisi nedir? *Güncel Konular* 2020. <https://www.birbes.com/?p=19861>. (Erişim Tarihi: 3.06.2024).
- Demir Y. Sığır eti üretiminde su ayak izi durumu. *Aydın Gastronomy* 2023; 7(1): 161-171.
- Durmuş ST. Süt sektörü potansiyel su ihtiyacı ve ayak izinin araştırılması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:56, Sakarya, Türkiye, 2021.
- Dykiel M., Bienia B., Brağiel E., Baran J. Water footprint in animal food production. *Proceedings of 36th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students*, 22-23 April 2024, pp:221, Dnipro, Ukrayna.
- Ercin E. Türkiye sütçülük sektörünün kırılganlıkları: Değişen iklimde su riskleri. *Water Footprint Network. Teknik Rapor*. 2020. <https://www.iklim.org.tr/wp-content/uploads/2022/02/Degisen-I%CC%87klimde-ve-Su-Riskleri-.pdf> (Erişim Tarihi: 05.06 2024).
- FAO. Turkey, Water along the food chain. 2016. <https://www.fao.org/3/i5991e/i5991e> (Erişim Tarihi: 05.04.2024)
- Florek M., Barłowska J., Litwińczuk Z. The water footprint in production of animals for slaughter. *Journal of Animal Science, Biology and Bioeconomy* 2017; 35(3): 1-14.
- Gerbens-Leenes PW., Mekonnen MM., Hoekstra AY. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry* 2013; 1-2: 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.001>
- Güneş E., Yüksel Ö., Başalp A., Nizamlıoğlu HF., Erçetin HK., Engin Ç. Sürdürülebilir mutfakta su ayak izi: Örnek bir pastane incelemesi. *Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi* 2023; 8(2): 150-161. <https://doi.org/10.37847/tdtad.1363923>
- Hoekstra A., Hung P. Virtual Water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to crop trade. *Value of Water Research Report Series* 2002; 11: 166 Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Ibidhi R., Salem HB. Water footprint of livestock products and production systems: a review. *Animal Production Science* 2020; 60(11): 1369-1380.
- Matta G., Kumar A. Health risk, water hygiene, science and communication. *ESSENCE-International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation* 2017; 8(1): 179-186.

- Mazlum H. Sağlıklı yaşamın temel gerekliliği: Su hijyeni. E. Bayer (Ed.), Çok Yönlü Akademik Perspektif: Sağlık Bilimleri Araştırmaları Klaipeda: SRA Academic Publishing 2023; 1-22.
- Mekonnen M., Hoekstra AY. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices. Daugherty Water for Food Global Institute: Faculty Publications. 2010.
- Mekonnen MM., Gerbens-Leenes W. The water footprint of global food production. *Water* 2020; 12(10): 2696. <https://doi.org/10.3390/w12102696>
- Mekonnen MM., Hoekstra AY. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 2012; 15(3): 401-415.
- Mekonnen MM., Hoekstra AY. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences* 2011; 15(5): 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Murphy SP., Allen LH. Nutritional importance of animal source foods. *The Journal of Nutrition* 2003; 133(11): 3932S-3935S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.11.3932S>
- Oğan M., Petek M., Dikmen S., Orman A., Alpay F., Üstüner H. Temel zootekni kitabı. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayını; 2013.
- Pahlow M., Van Oel PR., Mekonnen MM., Hoekstra AY. Increasing pressure on freshwater resources due to terrestrial feed ingredients for aquaculture production. *Science of the Total Environment* 2015; 536: 847-857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.124>
- Palhares JCP., Pezzopane JRM. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *Journal of Cleaner Production* 2015; 93(4): 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.035>
- Pegram G., Conyngham S., Aksoy A., Dıvrak BB., Öztok D. Türkiye'nin su ayak izi raporu: Su, üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi. WWF Türkiye: 2014.
- Pekcan AG. Beslenme rehberleri ve su ayak izi. *Beslenme ve Diyet Dergisi* 2017; 45(2): 95-98.
- Ran Y., Lannerstad M., Herrero M., Van Middelaar CE., De Boer IJ. Assessing water resource use in livestock production: A review of methods. *Livestock Science* 2016; 187: 68-79.
- Ridoutt BG., Sanguansri P., Freer M., Harper GS. Water footprint of livestock: Comparison of six geographically defined beef production systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2012; 17: 165-175. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0346-y>
- Saygın Ö., Demirbaş N. Türkiye'de kırmızı et tüketimi: Sorunlar ve öneriler. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2018; 32(3): 567-574. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2018.138>
- Shrestha S., Vaidya B., Ghimire A. Water of foodprint of food systems. In smart food industry: The Blockchain for Sustainable Engineering London: CRC Press 2024; 307-323

- TİGEM. Yılı hayvancılık sektör raporu. 2023.
<https://www.tigem.gov.tr/Folder/CarouselDosyasi/d722366d-7a4d-4929-ab06-10bc2614778e.pdf> (Erişim Tarihi:06.04.2024)
- Turan ES. Türkiye'nin su ayak izi değerlendirmesi. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi 2017; 74(EK-1): 55-62. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.29592>
- WWF (Dünya Doğayı Koruma Vakfı)-Türkiye, Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu 2014
http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/su_ayak_izi_raporweb.pdf (Erişim Tarihi: 11.03.2024)

İşyeri ve Çalışan Verimliliğini Etkileyen Faktörler

Safiye Nazmiye ÖZTÜRK^{1,2*}, Tülay ÖZTÜRK^{3,4}, Barış ÖZTÜRK⁵, Ahmet Mert ÖZTÜRK⁶

¹Department of Cyber Security, Istanbul Ticaret University, Istanbul, Türkiye

²Occupational Health and Safety Specialist

³Department of Nephrology, Sancaktepe Sehit Prof. Dr. İlhan Varank Training and Research Hospital, Istanbul, Türkiye

⁴Occupational Physician

⁵Department of R&D, BEOTEK Electricity and Automation, Istanbul, Türkiye

⁶Department of Operational Technology Engineer, Tupras, Istanbul, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-3527-3258>

³<https://orcid.org/0000-0001-8393-2580>

⁵<https://orcid.org/0009-0007-8701-4147>

⁶<https://orcid.org/0009-0008-4641-4440>

*Sorumlu yazar: nnazmiye82@gmail.com

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 16.08.2024

Kabul tarihi: 21.10.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Aydınlatma

Hasta bina sendromu

Renk sıcaklığı

Renk geriverim indeksi

ÖZ

İş sağlığı ve güvenliği; çalışma ortamında hem işçilerin verimli çalışması, iş performansı, tatmini, motivasyonu sağlanması hem de iş kazalarının önlenmesi açısından önemli meslek alanlarından biridir. Ülkemizde çoğu çalışma alanlarında aydınlatmanın çalışanın sağlığını, verimliliğini, motivasyonunu, iş refahını nasıl etkileyeceği dikkate alınan konular arasında görülmemektedir. Çalışma ortamı denildiğinde sadece ofisler olarak değerlendirilmemelidir. Örneğin AVM'ler, kafeler de birer çalışma ortamıdır ve yanlış aydınlatma sistemleri kullanılması çalışanları ve doğal olarak buraya gelen müşterileri olumsuz yönde etkileyebilir. Bu makalede bina içi tasarımlardan biri olan aydınlatma ve konuları arasındaki renk sıcaklığının, renk geriverim indeksinin çalışan sağlığı ve performansı üzerindeki etkileri araştırılmış olup, gün ışığı ve yapay ışığın işçilerin verimliliğini, motivasyonunu, iş tatmini ve üretkenliği nasıl etkilediği üzerinde durulmuştur. Yeterli gün ışığı alamayan ya da yeterli aydınlatma olmayan çalışma alanlarında, çalışanların motivasyonunun, verimliliğinin ve üretkenliğinin aynı zamanda çalışma saatlerinde işi sürdürebilme istekliliğinin olumsuz etkilendiği yapılan araştırmalarda görülmüştür. Diğer taraftan yeterli ışığın alınmadığı ortamlarda oturma pozisyonlarından kaynaklanacak sebeple hem iskelet sisteminde bozulmalar hem de ekranlı araçlarda çalışırken aşırı yorulmadan dolayı göz hassasiyetlerinde artma olduğunu saptanmıştır. İşverenin, çalışma ortamında işçi sağlığı ve güvenliği açısından hem yeterli gün ışığı hem de yapay ışığı sağlaması önem arz etmektedir. İyi yapılandırılmış bir aydınlatma sadece işçilerin sağlığı için değil, işverenler ve iş yeri ortamında işçilerin daha üretken olması, hata ve kaza oranları, devamsızlığın azaltılması, daha iyi iş güvenliği ve sağlığı açısından önemlidir. Burada iş performansını ve motivasyonunu, huzuru etkileyen aydınlatma, CCT ve CRI kavramları ve hasta bina sendromu üzerine değerlendirme makalesi yapılmıştır.

Factors Affecting Workplace and Employee Productivity

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 16.08.2024

Accepted: 21.10.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Artificial lighting

Sick building syndrome

Color temperature

Color rendering index

Occupational health and safety are one of the most important occupational fields in terms of ensuring efficient work, job performance, satisfaction and motivation of workers and preventing occupational accidents in the working environment. In most workplaces in our country, how lighting will affect the health, productivity, motivation and well-being of the employee is not among the issues considered. When the working environment is called, it should not only be considered as offices. For example, shopping malls and cafes are also working environment, and the use of incorrect lighting systems can negatively affect employees and customers who naturally come here. This article explores the effects of color temperature, color rendering index between its subjects and lighting, which is one of the building interior designs, on employee health and performance are investigated, how daylight and artificial light affect workers' efficiency, motivation, job satisfaction and productivity and sick building syndrome (SBS) are emphasized. Well-structured lighting is important not only for the health of workers, but also for employers and workers in the workplace environment in terms of increased productivity, reduced error and accident rates, reduced absenteeism, better occupational safety and health.

To Cite: Öztürk SN., Öztürk T., Öztürk B., Öztürk AM. İşyeri ve Çalışan Verimliliğini Etkileyen Faktörler. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 985-999.

1. Introduction

As the earth revolves around its axis, we human beings have a physiological, biochemical and behavioral cycle that is constantly repeated. SBS has been acknowledged by the World Health Organization (WHO) as a health problem caused by the building environment and is included in the Occupational Health Declaration. In recent years, natural daylight and artificial lighting have become a concern in Engineering and Architecture and Occupational Health and Safety (OHS). Failure to reflect enough natural or artificial light in work environments can create stress and psychological states in different ways in employees. Regarding work motivation and performance, situations such as stress and anxiety can cause different situations in employee psychology during working hours, because negativities in the workplace environment directly affect the performance and motivation of the employees and their peace. Many environmental factors certainly affect employees' motivation and mood in the workplace. Today, when the quality of life is quite low through the process of the Covid 19 pandemic, many employees want to focus on the work instead of thinking about the stressful, negative situations in the house when coming to work, but if the environmental factors in the workplace environment create negativity, the efficiency of these works, performance, it will affect their productivity, motivation and job satisfaction, peace of mind, and research continues to be done on this subject (Öztürk et al., 2021).

Along with the developing technology, it is seen that there are changes in working conditions and the habits of employees in doing the job. If we evaluate the business changes in terms of past and present, we can take a simple example: sales-marketing departments' work, which was previously done using many documents, is now carried out through various programs with digital transformation in the computer environment. While the advancement of technology is positive, on the other hand, the complexity of the systems and the lack of competence of the personnel can lead to various problems. Therefore, in parallel with technology, the changing demands and requirements of customers and the desire to finish the work in a shorter time, working at a faster pace and for longer periods directly affect

the performance and motivation of employees. As such situations increase anxiety in the mind, it will be a situation that directly affects productivity, performance and motivation. For this reason, employers need to develop environmental factors that affect employees negatively in line with the demands of their employees or regulate them depending on the working environment. It should be considered that environmental factors can affect not only one employee but also many employees.

Daylight is one of the indispensable and necessary resources for all living things. For this reason, visual disturbances such as distraction due to physiological and psychological reasons, and temporary loss of vision due to glare, reflection and shadow should be eliminated by providing daylight and correctly selected and calculated artificial lighting devices in buildings with closed areas such as offices and factories in 7-24 workplaces (Schulzová and Bošová, 2019; Öztürk et al., 2021). Figure 1 shows that the situations affecting workers in the workplace. In office environments, employees may suffer from computer screen glare in daylight due to incorrect positioning of computers. This is sometimes due to the building plan, sometimes due to the incorrect location of installations or the placement of desks in the wrong places.

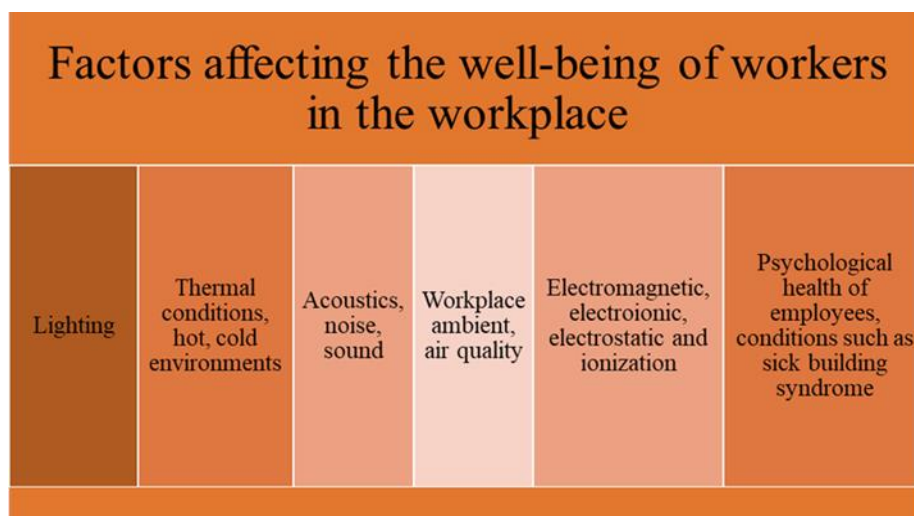


Figure 1. Factors affecting employees' work motivation, performance and peace of mind in the workplace (Schulzova and Bosova, 2019; Öztürk et al., 2021).

The environment in workplaces is the place where employees spend the most time and includes physical conditions that affect many factors from the senses of the workers to their well-being, peace of mind and motivation. If employers expect maximum efficiency, performance and productivity from their workers, they should consider that this is closely related to the physical and mental well-being, happiness and restfulness of their employees and the workplace space and design (Schulzova and Bosova, 2019; Öztürk et al., 2021).

Malik, Qayyum and Fatima (2021) reported that female employees were more negatively affected by sick building syndrome than male employees when evaluated under sanity and SBS at the site of the work.

It is important for workpeople to adapt to the changing and ongoing challenges in the workplace environment, to remain strong against the competition around them and to improve themselves. Here, when we evaluate the past business life in terms of competition at work, we can think that the competition was less than it is today due to the low number of educated and skilled personnel and the need for manpower in workplaces. Today, however, the high number of educated people and the increasing complexity of work lead to a more competitive workplace environment. It is also important for employers to be able to maintain the standard set by ensuring the well-being and peace of mind of employees in the workplace environment and increasing their motivation. Weaknesses in the environmental factors that need to be maintained and adhered to the set standards in the indoor environment will cause ongoing fatigue, headaches, irritability, reduced mental and physical productivity and performance, as well as a decrease in material spiritual and emotional well-being, and a decrease in job forecasting (Schulzova and Bosova, 2019; Malik and Qayyum et al., 2021; Öztürk et al., 2021).

In some studies on the effectiveness of lighting on work-employee performance in the workplace, it has been reported that employee vision increases with increasing illumination, if they are exposed to light at night, it has an awakening effect and this is related to the cold CCT (Correlated Color Temperature) level, as illumination increases, employee concentration can increase, communication and social behaviors are improved at warmer CCT value and low illumination level (dim environment) (Te Kulve et al., 2018; Schulzova and Bosova, 2019; Öztürk et al., 2021).

2. Sick Building Syndrome

SBS is one of the reasons that has a great impact on work performance and motivation as well as affecting the attendance, efficiency and productivity of employees, which has economic consequences every year that directly affect workplaces (Nduka et al., 2018; Afolabi et al., 2020; Sarkhosh al., 2021). SBS include components such as inadequate, poor lighting, inadequate ventilation, humidity, temperature and noise. In the definition of SBS by the WHO in 1983, it was stated that symptoms such as headaches, dry skin, irritation in the eyes, nose and throat, dizziness, drowsiness, hypersensitivity, cough, and nausea were observed (Morris and Dennison, 1995; Nduka et al., 2018; Afolabi et al., 2020; Hoang et al., 2020; Sarkhosh al., 2021; Wang et al., 2022; Hu et al., 2023). The important point here is that the problem starts when you enter the building or environments such as workplaces and factories and disappears when you move away from these places or when you leave. These symptoms are more likely to be seen in more competent experienced, professional and administrative personnel and personnel working in an office environment. These symptoms may vary according to the workplace environment, but they are not specific and do not vary much in employees.

SBS should be considered not only in the home environment but also in the workplace environment, since most of the time is spent in the workplace, except for vacations. Sometimes, workers may experience fatigue, headaches, difficulty concentrating and other symptoms that cannot be identified as

soon as they arrive at the workplace. This can be caused by inappropriate workplace lighting, inappropriate and non-ergonomic workplace design, ambient noise, ambient temperature and humidity, anxiety about being able to do and complete the work, and indoor environmental problems.

In terms of lighting, fluorescent lamps used in the past, which can still be found in some workplaces today, can cause the production of photochemical fumes due to the materials used. This can reduce the amount of oxygen that should be sufficient in the working environment where employees are located. In addition, the lack of adequate light can create a problem for employees to focus on work.

One of the environmental factors considered in SBS is lighting. Because the sensitivity of each worker to light may differ. The quality of lighting systems used in workplaces and the amount of light perceived by workers may be more or less. In addition, sensitivity to light may vary depending on age and visual ability, the type of work performed, i.e. visual difficulty (Morris and Dennison, 1995; Nduka et al., 2018; Afolabi et al., 2020; Hoang et al., 2020; Sarkhosh al., 2021; Wang et al., 2022; Hu et al., 2023). For example, the white light emitted by fluorescent lamps may cause headaches, including eye fatigue, and a decrease in work efficiency and performance, or the excessive brightness and glare of the selected luminaires, insufficient contrast level may cause visual stress in employees, headaches and eye irritation. It may cause employees to take leave and go for repeated hospital examinations.

3. Lighting Concepts

3.1. Illumination

It is the intensity of the light flux event on a surface. It is the method used to capture sufficient light by lighting standards and continues to be investigated as a variable affecting human performance (Konstantzos et al., 2020).

Inadequate light obtained from the lamps used in lighting systems, or problems caused by concepts such as glare, flickering and contrast that may be seen in the devices used in lighting and which are undesirable, as well as premature fatigue in the employees, eye strain due to further blinking, dry eye and related headaches are conditions that can affect job satisfaction, peace of mind and performance in employees.

Color rendering efficiency (CRI) is considered the best source of daylight. Studies have shown that daylight during the day in the workplace affects perception, health and comfort of employees. It has been observed that workers are negatively affected in cold thermal environments with low daylight intensity, while they are more comfortable in warm conditions (Jiang et al., 2022).

In building design, floor and ceiling heights are important, and the devices selected for lighting should be determined by considering the width and height of the working environments and windows, because the lack of sufficient natural light or artificial light in the workplace environment can cause stress and work reluctance for employees. In addition, if combined with other environmental or managerial problems, it is difficult for employees to continue working, in the most general sense, the answer that employees will give will be "I was not peaceful in the workplace environment".

Glare that may arise from incorrect choices made in the installation of lighting systems can cause work stress. The fact that it directly affects vision, especially in those who work in fine work, can create psychological pressure on the employee.

Inadequate natural and artificial lighting and the increase in the use of computers in workplaces have led to an increase in work stress in workplaces along with environmental factors. Today, there is a transition to LED lighting systems instead of lamps that can reduce the amount of oxygen in the environment due to the toxic and photochemical reactions emitted from traditional lamps.

Factors arising from building designs, lack of ergonomics, insufficient access to daylight due to the layout of the workplaces, and defects in artificial lighting can lead to different causes of stress in employees and cause SBS in office or factory workers.

In compliance with Occupational Health and Safety, lighting, which is one of the subjects explained in interior design in the Department of Architecture as well as Electrical and Electronics Engineering, should help to elevate effectivity and prolificacy as well as provide employees in offices or factories with the opportunity to work by feeling safe. It is certain that overly bright or inadequate lighting will create different stress effects on each employee. It will cause eye itching, dry eyes, premature fatigue of the eyes and, over time, severe eye impairment. For example, different situations may arise depending on their working conditions, especially in the office environment and those working with screen devices such as computers. In addition to work anxiety and stress, SBS and the existing lighting system will also harm employees. Employees will be uncomfortable with the existing lighting systems and will want to reduce or increase them. In this case, it will negatively affect job satisfaction, motivation, adaptation to the workplace environment, performance and productivity as it will create negativity in other employees. When new workplaces are defined in our country, we need to think of offices in modern commercial buildings. In these workplaces, there are multi-user, collaborative, fast working tempo and transitions between units (Despenic et al., 2022).

Lighting requirements among employees may vary according to various reasons. In this case, it will be difficult to achieve results that will delight and satisfy each employee at work and increase their productivity, because while such modern office type buildings are being built, it is not clear which business areas will be used, they are completed using general lighting design and devices. The type of lighting that workplace employees will need for their work should be selected. Similarly, in a factory environment, a similar type of lighting is important for workers working in different tasks and places. Contrasting luminaires; high illumination in one place and dim lighting in another place may cause dissatisfaction and conflicts among employees (Konstantzos et al., 2020). In addition, it will not only delay the work, but also cause the worker to work more slowly, affecting the worker's feelings such as alertness, stress and mood, satisfaction, and decreasing peace and motivation in the workplace environment.

Nowadays, since almost every work is done with screen tools such as computers, the glare on the screens, the light level in the lamps used to illuminate, flickering, and the contrast level is not suitable may cause problems in work satisfaction and performance of the workpeople. Here, CCT and CRT values, which are lighting terms from Electrical and Electronics engineering subjects, are also important in the selection of lamps for the lighting problem. The lamps used in the workplace environment should be close to natural daylight. When selecting lamps, they should be selected to emit less heat to the environment, not to create dim-darkening environments when lighting and energy efficiency should be planned. One of the important points here is that workers working together in environments such as offices may have different sensitivity to light. Above a certain level, there may be problems such as decreased vision and migraine. These workers may request that the number of lamps required in the environment be reduced and dark curtains be used on the windows. This can lead to a lack of motivation, reluctance to enter the work environment and sick building syndrome in other employees, affecting peace and job satisfaction at work, causing conflicts between employees and a decrease in tolerance levels. The second is the placement of desks; in many office environments, the placement of desks closes to windows, the arrival and reflection of daylight on screen devices can cause temporary vision loss in employees. Interior layout is also important here.

Weaknesses in lighting design, because design processes are carried out based on architectural plans, not paying attention to the location of workplaces, factories and offices in the external environment, and the environmental factors around them, not creating lighting plans for different requirements and tasks, lack of lighting laws and adequate administrative regulation, improper selection of luminaires, incorrect use of the concept called room-index ratio (Despenic et al., 2017; Katabaro et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022) cause the required lighting not to be obtained.

3.2. Brightness

The amount of light flux transmitted through a unit facet (Despenic et al., 2017; Katabaro et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022). Luminescence is measured and very few studies have focused on human performance. Luminance ratio or luminance contrast will vary across environments and surfaces and should be considered as an important consideration.

Brightness in the visual field affects visibility and visual comfort. The unit of brightness for a light source is the nit (candela/sq.m) (Despenic et al., 2017; Katabaro et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022). Building ceilings and walls, interior surfaces with appropriate brightness affect people's visual comfort. With a balanced and appropriate distribution of brightness, visual acuity, contrast adjustment and sensitivity are affected by the good functioning of visual functions, i.e. pupil contraction and movements, convergence. The formation of shadowy areas and unwanted brightness may limit the ability to see (Despenic et al., 2017; Sun et al., 2019; Katabaro et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022).

3.3. Light Color and Type

Among the selected luminaires and their characteristics, the associated color temperature, light rendering index, light intensity, light uniformity, spectral distribution are among the issues to be considered. Different types of lamps can directly affect workplace workers and their productivity. Because the color of light can cause decreased attention and loss of perception, cognitive confusion and decreased work performance (Despenic et al., 2017; Katabaro et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022).

4. CCT and CRI

The conditions affecting lighting such as illumination distribution, color temperature, color rendering, and intensity of the selected luminaires are effective in the perception of the image, which increases or decreases human visual activity (Sun et al., 2019). In addition, since all systems in the human body work in coordination with each other, workers' emotional, cognitive ability, executive functions and performance on the task can be affected by lighting systems. In terms of work efficiency, the lighting environment can positively or negatively affect the risk of making mistakes and accidents.

The color of the illuminant radiated from the luminaire used is the associated color temperature, and the view out of an object under a source of illumination relative to natural light is related to the color rendering index (Pulay et al., 2018). For a light source, it is described as its visual performance and determines the capacity of artificial light sources to reflect colors close to sunlight (Fumagalli et al., 2015). For CRI, daylight is accepted as 100% and evaluated between 0 and 100. At 0, the colors are observed as lifeless and pale, like each other, while as the value increases towards 100, it is seen that the colors are distinguished and vivid, that is, there is a clearer image (Ohno, 2000; Ozturk et al, 2022). Figure 2 indicates CRI index and Figure 3 explains CCT values.



Figure 2. CRI index values (Ohno, 2000; Ozturk et al., 2022; <https://www.ledsmaster.com/>; <https://www.earthtronics.com/>; https://www.ledyilighting.com)

The light color of visible light is reflected by a source of illumination, expressed in CCT. Its unit is Kelvin. The color of the light source is expressed in degrees Kelvin (Ohno, 2000; Ozturk et al., 2022; www.aydinlatma.org/cri-renksel-geriverim-indeksi-nedir.html; www.aydinlatma.org/renk-sicakligi-kelvin.html)

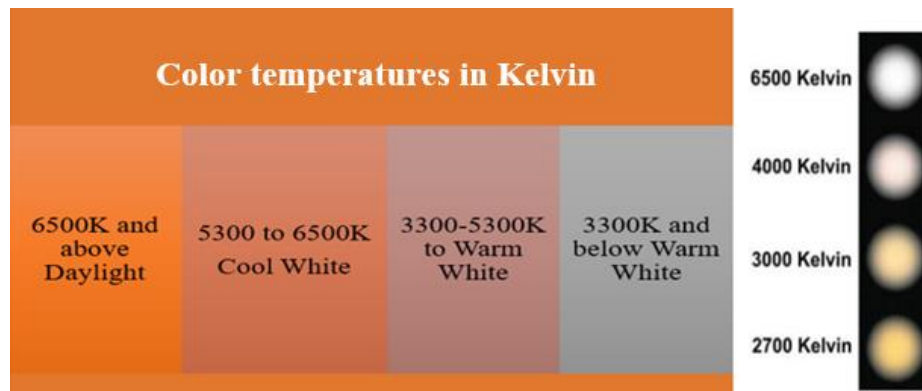


Figure 3. Color temperature values (Ohno, 2000; Ozturk et al., 2022; Fontana, 2023; <https://www.ledsmaster.com/>; <https://www.earthtronics.com/>; https://www.ledlighting.com)

Since workplaces also consist of enclosed spaces, it is necessary to consider indoor lighting design because the objects in the illuminated place, such as wall color, light reflection properties from the surface, intensity, spectral power distribution, CRI and CCT values and color rendering through artificial light, should be considered not only as the properties of light sources, but also as a whole with indoor architecture (Ozturk et al., 2022; Fontana, 2023).

When cognitive function is considered in employees, it can be counted as problem solving, reasoning, planning, determining behaviors towards targeted points, complying with the given tasks, and adapting to transitions between different units (Ohno, 2000; Fumagalli et al., 2015; Despenic et al., 2017; Pulay et al., 2018; Jamrozik et.al, 2019; Katabaro et al., 2019; Sun et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022; Fontana, 2023).

The perception of light in an area depends on color temperature and color rendering index. CCT has an impact on the visual perception, cognition, job satisfaction, mood, peace, comfort, performance and productivity of employees in the workplace (Ohno, 2000; Fumagalli et al., 2015; Despenic et al., 2017; Pulay et al., 2018; Jamrozik et.al, 2019; Katabaro et al., 2019; Sun et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022; Fontana, 2023). These two factors, which are important in determining luminaire properties, are among the factors that determine the psychological and physiological states of the body in employees. When it comes to CCT, the Kelvin (K) value that is suitable or close to daylight in the workplace environment will positively increase the motivation and satisfaction of workers or office environment employees by affecting the characteristics such as cognition, i.e. the ability to comprehend, understand, remember, and the ability to quickly obtain and apply information in the workplace environment. Studies have shown that in workplaces where environmental conditions are suitable and

sufficient daylight is received, employees may have higher motivation and accordingly their performance increases (Ohno, 2000; Fumagalli et al., 2015; Despenic et al., 2017; Pulay et al., 2018; Jamrozik et.al, 2019; Katabaro et al., 2019; Sun et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022; Fontana, 2023).

Glare in workplace lighting will have a direct or indirect effect on the worker's vision. In this case, it is one of the situations that interfere with the vision of the employee and causes glare in the eyes, there is difficulty in continuing the work, because it can cause a feeling of fatigue both physically and mentally, and the other may be the discomfort that glare will cause in the employee, even if it does not interfere with vision (Ohno, 2000; Fumagalli et al., 2015; Despenic et al., 2017; Pulay et al., 2018; Jamrozik et.al, 2019; Katabaro et al., 2019; Sun et al., 2019; Konstantzos et al., 2020; Jiang et al., 2022; Fontana, 2023). For example, irritability, distraction, headaches.

In studies, it has been stated that the associated color temperature (CCT) in workplaces increases features such as alertness and performance in employees. It has been observed in studies that workers working under bright light have better mood, cognitive functioning, performance and alertness, ability to maintain work, and attention. The relationship between sleep and wakefulness is affected by light and dark environments, as there may be changes in the physiological and hormonal systems of workers in both daytime work and especially shift work (Van de Putte et al., 2022)

5. The Impacts of Daylight and Artificial Light on Workers' Health and Well-Being, Cognitive Function and Performance Use this Style for Level One Headings

Many studies have shown that daylight has a positive impact on health, for example, good quality sleep, improved vision, less eye strain, less headaches and depression. It is certain that low light in workplaces and offices can trigger eye defects such as myopia. It has been stated in studies that mental fatigue, stress, sleepiness and blood pressure decrease in those who sit in places that can receive natural light at workplaces or on windowsills, while depressive problems, sleepiness and physiological problems increase in employees who do not receive sufficient light (Allen and Macomber, 2022) and consequently affect work motivation and work-workplace well-being.

Light has important effects on cognitive function. It is important to maintain the circadian system and cognitive well-being in the cycle we call sleep and wakefulness. This is because the sleep-wake cycle is important for the functioning of memory, the execution of its function, its ability to learn, and the ability to maintain the functioning of memory, and depends on the regular functioning of the circadian rhythm. For example, when short wavelength and high intensity light systems are used, workers are more likely to stay awake in the workplace, and values closer to daylight in the morning, such as CCT: 5500-6500 K compared to CCT: 3000-3500 K, improve cognitive functioning and employee performance and motivation (Cedeño-Laurent et al., 2018; Allen and Macomber, 2022; Marberry et al., 2022).

In addition to all these, design and planning should be made considering summer and winter conditions. Considering that light has a stimulating effect, reducing the short wavelength and light intensity will cause a decrease in the desire of employees to stay awake towards the evening hours in workplaces and offices and an increase in the desire to fall asleep due to relaxation (Clements-Croome, 2006).

If workplaces such as offices and factories are considered as indoor spaces, non-visual effects will vary depending on light levels. Considering daytime and shift work, physiological, metabolic functioning, hormone levels, sleep-wake cycles, mood, immunity, and many other conditions and behaviors need to be maintained in harmony with the circadian system. Therefore, it is needful to maintain the light and dark cycles in a stable manner with properly designed and selected lighting devices during the 24-hour working period. A disruption in the circadian system of employees may conduce to an augmented risk of chronic and acute diseases in the workplace, such as diabetes, kidney and heart diseases, various types of cancer and accidents, as well as results that directly or indirectly affect the employer economically (MacNaughton et al., 2021). Establishing a light and dark cycle that will positively affect the worker is important for the healthy functioning of the circadian system and the rhythms it controls. Figure 4 specifies the impact of enlightenment on human performance.

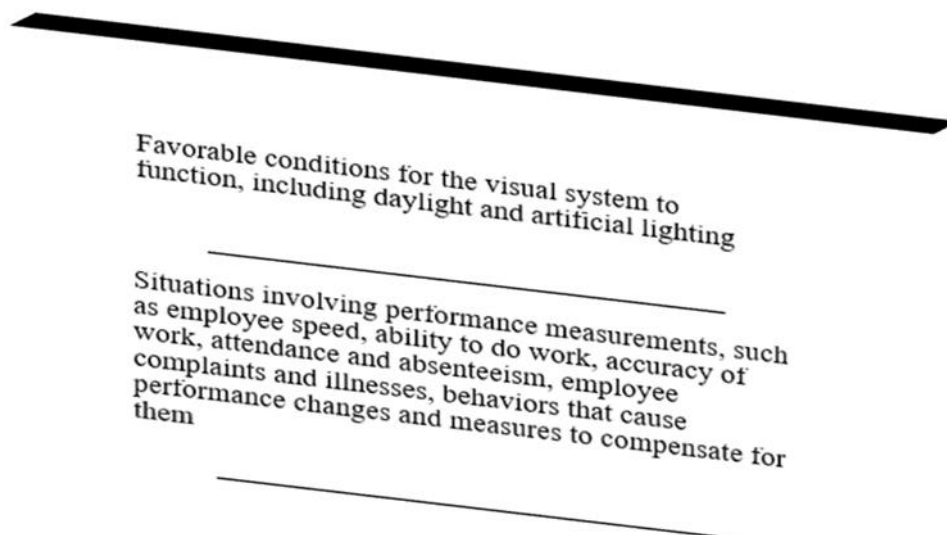


Figure 4. The importance of lighting on human performance can be explained in two ways (Abdou, 1997; Juslén and Tenner 2005)

6. Conclusion

Studies have shown that employee health and safety, performance, productivity and motivation are negatively affected in poorly designed workplaces and office environments. In the workplace environment, flicker, glare and noise from lighting devices can disturb employees. It has been stated that problems such as not using appropriate CCT and CRI values, glare, flicker or high brightness on one side and a dim environment on the other side cause excessive sensitivity, fatigue, dryness or tearing in the eyes, on the other hand, both mental and physical fatigue, adaptation to work in the workplace

environment, inability to focus and sleepiness, work accidents, and also reduce employee motivation and job satisfaction. Research has shown that the selection of user-oriented design elements in offices and workplaces is important and that the satisfaction and productivity of the employee in the workplace environment can be increased. At another important point, it has been emphasized to creation environments where sufficient daylight can be received in workplaces, because daylight is the best natural source of illumination for eye health and visual comfort in terms of color rendering and color temperature, color spectrum. One of the factors that optimizes the spatial appearance is a well-designed lighting system, which is important both from the point of occupational health and safety, employee welfare, motivation and environmental improvement.

Among the issues that are not found in many workplaces, but which need to be evaluated for employees, designs can be developed to control electrical lighting, dimming for those with eye sensitivity, that is, changing and regulating the brightness, and adjusting shading systems on windows.

Inappropriate lighting conditions: drowsiness, eye fatigue, headaches, employee satisfaction, participation, keeping cognitive ability alive, work attendance, work focus, as well as taking leave due to illness, absenteeism and negatively affecting employee performance and welfare, not only affecting the employee but also the employer in terms of cost. Health expenses also create a financial burden with a negative impact on the employer. By positioning daylight and artificial light in workplaces with advanced design strategies in the best way, unobstructed visibility, glare and shadow environments can be reduced, and the heat emitted from the devices used can be minimized.

Acknowledgment

The authors have not received any financial support for the research, authorship, or publication of this study. No conflict of interest or common interest has been declared by the authors.

Author Contribution

The authors contributed equally to the study.

Ethics Committee Approval

This study does not require ethics committee permission or any special permission.

References

- Abdou OA. Effects of luminous environment on worker productivity in building Spaces. *Journal of Architectural Engineering*. 1997; 3(3): 124–132.
- Afolabi A., Arome A., Akinbo F. Empirical study on sick building syndrome from indoor pollution in Nigeria. 2020; 8(E): 395–404.
- Allen J., Macomber J. *Healthy buildings: How indoor spaces drive performance and productivity*. Harvard University Press; 2020 Feb 7.

- Cedeño-Laurent J., Williams A., MacNaughton P., Cao X., Eitland E., Spengler J., Allen J. Building evidence for health: green buildings, Current Science, and Future Challenges 2018; 39: 291–308.
- Clements-Croome D. Creating the productive workplace. Taylor & Francis; 2006 Feb 7.
- Color Rendering Index (CRI) Versus color temperature – What are they?
<https://www.ledsmaster.com/knowledge/color-temperature/color-rendering-index-versus-color-temperature/>
- Complete Guide to the Color Rendering Index, Color Temperature, and LED Lighting. 2022 Dec 14
<https://www.earthtronics.com/2022/12/14/complete-guide-to-the-color-rendering-index-color-temperature-and-led-lights/>
- Despenic M., Chraibi S., Lashina T., Rosemann A. Lighting preference profiles of users in an open office environment. Building and Environment. 2017; 116: 89–107.
- Fontana L. Effect of indoor surfaces’ spectral reflectance on the environmental light spectrum modification and on objects perceived color. Results in Engineering. Elsevier; 2023 Mar 1 ; 17: 100805.
- Fumagalli S., Bonanomi C., Rizzi A. Experimental assessment of color-rendering indices and color appearance under varying setups. Journal of Modern Optics 2015; 62(1): 56–66.
- Hoang Quoc C., Vu Huong G., Nguyen Duc H. Working conditions and sick building syndrome among health care workers in Vietnam. 2020; 17(10): 3635.
<https://www.ledyilighting.com/what-is-cri/>
- Hu X., Li N., Gu J., He Y., Yongga A. Lighting and thermal factors on human comfort, work performance, and sick building syndrome in the underground building environment. Journal of Building Environment 2023; 79(7): 107878.
- Jamrozik A., Clements N., Hasan SS., Zhao J., Zhang R., Campanella C., Loftness V., Porter P., Ly S., Wang S., Bauer B. Access to daylight and view in an office improves cognitive performance and satisfaction and reduces eyestrain: A controlled crossover study. Building and Environment. Pergamon 2019; 165: 106379.
- Jiang Y., Li N., Yongga A., Yan W. Short-term effects of natural view and daylight from windows on thermal perception, health, and energy-saving potential. Building and Environment 2022; 15: 208:108575.
- Juslén H., Tenner A. Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace. International Journal of Industrial Ergonomics 2005; 35(9): 843–855.
- Katabaro JM., Yan Y. Effects of lighting quality on working efficiency of workers in office building in Tanzania. Journal of Environmental and Public Health 2019; 31814837.
- Konstantzos I., Sadeghi SA., Kim M., Xiong J., Tzempelikos A. The effect of lighting environment on task performance in buildings—A review. Energy and Buildings 2020; 226: 110394.

- MacNaughton P., Woo M., Tinianov B., Boubekri M., Satish U. Economic implications of access to daylight and views in office buildings from improved productivity. *Journal of Applied Social Psychology* 2021; 51(12): 1176–1183.
- Malik U., Qayyum S., Fatima I. Physical work environment, sick building syndrome and mental health of factory workers. *Journal of Contemporary Issues in Business and Government* [Internet]. 2021; 27(1): 2021.
- Marberry SO., Guenther R., Berry LL. Advancing human health, safety, and well-being with healthy buildings. *Journal of Hospital Management and Health* 2022. <https://jhmhp.amegroups.org/article/view/7148/pdf>
- Morris A., Dennison P. Sick building syndrome: survey findings of libraries in Great Britain. 1995 Feb 7; 16(3): 34–42.
- Nduka DO., Amusan LM., Akinbile B., Owolabi JD. Environmental physical quantities impact on emergence of sick building syndrome on users of public buildings in Lagos Nigeria. 2018 Feb 7; 9(10): 980–990.
- Ohno Y. CIE fundamentals for color measurements. *Society of Imaging Science and Technology* 2000; 16: 540–545.
- Ozturk SN., Onat M., Celik HH. 3d night illumination of aphrodisias open-air museum with LED Technology. *Light and Engineering* 2022, 30(1): 101–112.
- Öztürk SN., Öztürk T. İş sağlığı ve güvenliği yönetim uygulamalarının çalışanların iş tatmini üzerine etkisi. *Ohs Academy* 2021; 4(3): 71–78.
- Pulay A., Read M., Tural E., Lee S. Examining student behavior under two correlated color temperature levels of lighting in an elementary school classroom. 2018 Feb 7; 23(3): 58–69.
- Sarkhosh M., Najafpoor AA., Alidadi H., Shamsara J., Amiri H., Andrea T., Kariminejad F. Indoor air quality associations with sick building syndrome: An application of decision tree technology. 2021 Feb 7; 188:107446.
- Schulzova K., Bosova D. The development of indoor environmental quality definition from vitruvius to the present. *11Th Architecture in Perspective 2019/11 Architekura V Perspektive* 2019, October 2019, 38–42.
- Sun C., Lian Z., Lan L. Work performance in relation to lighting environment in office buildings. *Indoor and Built Environment* 2019; 28(8): 1064–1082.
- Te Kulve M., Schlangen L., Schellen L., Souman JL., van Marken Lichtenbelt W. Correlated colour temperature of morning light influences alertness and body temperature. 2018 Feb 7; 185: 1–13.
- Van de Putte E., Kindt S., Bracke P., Stevens M., Vansteenkiste M., Vandevivere L., Ryckaert WR. The influence of integrative lighting on sleep and cognitive functioning of shift workers during the morning shift in an assembly plant. 2022; 09: 103618. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103618>

Wang M., Li L., Hou C., Guo X., Fu H. Building and health: Mapping the knowledge development of sick building syndrome. *Buildings* 2022; 12(3): 287.

What is CRI? Everything you need to know. 2022 May 24.

Yoshi O. CIE fundamentals for color measurements: Ingenta Connect. IS&Ts NIP16: 2000 International Conference on Digital Printing Technologies [Internet]. 2000;16:540–545.