



Bazı Tek Yıllık Çim (*Lolium multiflorum* Lam.) Çeşitlerinin Ot Verimi ile Bazı Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Ayşe Nida KURT^{1*}, Uğur BAŞARAN²

¹Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Muş

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Yozgat

¹<https://orcid.org/0000-0001-7752-5663>

²<https://orcid.org/0000-0002-6644-5892>

*Sorumlu yazar: ankayaalp@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.09.2021

Kabul tarihi:24.01.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Tek yıllık çim

Çeşit

Verim

ÖZ

Bu çalışmada bazı tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.) çeşitlerinin verim komponentleri ile bu komponentlerin yeşil ot verimi ve kuru ot verimi ile arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile incelenmiştir. Deneme Tokat ekolojik şartlarında 2018-2019 yetiştirme sezonunda yürütülmüştür. Çalışmada tek yıllık çimin 11 adet çeşidi (Barmultra II, Barspectra II, Bartigra, Baqueano, Caramba, Devis 2017, Pollanum, Trinova, Vallivert, Venüs, Vespolini 2016) kullanılmıştır. Deneme Tokat Merkeze bağlı Bakışlı Köyünde, çiftçi koşullarında, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Ekim işlemi 2018 sonbaharında 20 cm sıra aralığında ve her çeşitten 3 kg/da olacak şekilde elle yapılmıştır. Hasat bitkilerin başaklanma başlangıcında olmak üzere 3 defa yapılmıştır. Çalışma sonucunda, incelenen özellikler (ana sap uzunluğu (ASU), ana sap kalınlığı (ASK), ana saptaki boğum sayısı (ASBS), bayrak yaprak boyu (BYB), bayrak yaprak eni (BYE), yeşil ot verimi (YOY), kuru ot verimi (KOV)) bakımından çeşitler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Korelasyon analizine göre YOY ve KOV ile ASU, ASK, BYB ve ASBS arasında önemli ve olumlu ilişki bulunmuştur. Bu çalışma Tokat ekolojik koşullarında tek yıllık çimin başarıyla yetiştirilebileceğini göstermiştir.

Determination of Hay Yield and Some Morphological Characteristics of Some Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) Varieties

Research Article

Article History:

Received: 08.09.2021

Accepted: 24.01.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Annual ryegrass

Variety

Yield

ABSTRACT

In this study, relations between hay yield and some yield components of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) were tested by correlation analysis. The present study was carried out with the aim of determining the some agronomical traits of annual ryegrass varieties in the ecological conditions of Tokat between the years of 2018 and 2019. In this study, 11 annual ryegrass varieties (Barmultra II, Barspectra II, Bartigra, Baqueano, Caramba, Devis 2017, Pollanum, Trinova, Vallivert, Venüs, Vespolini 2016) were used. The experiment was arranged in randomized blocks design with three replications in the Bakışlı village of Tokat. Sowing was performed on 21 October 2018 with 20 cm row distance and 3 kg/da seed ratio for each variety by hand. The plants were harvested at the start of heading three times totally. According to the results, statistical differences were found among the varieties for examined properties (main stem length, main stem thickness, number of knots, flag leaf size, flag leaf width, bedtime, green herb yield, dry

herb yield. Based on correlation analysis there was a positive and significant relationship between green herb yield and dry herb yield, main stem length, main stem thickness, number of knots. Results showed that annual ryegrass can be grown successfully in the Tokat ecological conditions.

To Cite: Kurt AN., Başaran U. Bazı Tek Yıllık Çim (*Lolium multiflorum* Lam.) Çeşitlerinin Ot Verimi ile Bazı Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):1-11.

Giriş

Buğdaygiller (*Poaceae*) familyasında yer alan tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.) hızlı büyüme ve gelişmesi, bir vejetasyon süresinde birden fazla kez biçilebilmesi, bol ve kaliteli ot üretmesi, tek yıllık olması sebebiyle ekim nöbeti sistemlerinde kolaylıkla yer alabilmesi, sulama ve gübrelemeye olumlu tepkiler vermesi, çeşitli baklagil ve buğdaygil yem bitkileriyle karışım halinde yetiştirilebilmesi, yeşil gübre bitkisi olarak değerlendirilebilmesi gibi özellikleriyle kaba yem açığının giderilmesi bakımından alternatif yem bitkisi potansiyeli taşımaktadır. Hayvan beslemede yeşil ot, kuru ot ve silaj olarak kullanılabilen tek yıllık çimler kısa süreli meralarda otlatılarak değerlendirilmektedirler (Özkul ve ark., 2012; Gösterit ve ark., 2017). Ayrıca yüksek besin madde içeriği, sindirilebilirliği ve oldukça lezzetli olması sebebiyle hayvanlar tarafından sevilerek, büyük bir iştahla tüketilmektedir. Tek yıllık çim çiçeklenme periyodu başlangıcında hasat edildiğinde çabuk kurutulabilir ve hayvanlar tarafından severek yenen kaliteli kuru ot ürünü sağlar. Normal şartlarda, bir biçimle dekardan 1500-2500 kg yeşil ot ve 500-800 kg da⁻¹ arasında farklılık gösteren kuru ot verimi almak mümkündür. Sulu koşullarda veya ilkbahar yağmurlarının bitki ihtiyacını karşıladığı bölgelerde, 2-3 defa hasat yaparak 4-6 ton da⁻¹ yeşil ot, 750-1500 kg da⁻¹ kuru ot ürün sağlanabilmektedir (Avcıoğlu ve ark., 2000). 25,329 ha ekiliş alanı, 971,691 ton üretim miktarı ile de ülkemiz tarım sistemlerinde yıllara göre giderek artan şekilde yer almaya başlayan tek yıllık çimin söz konusu araştırma yeri olan Tokat'ta yetiştiriciliği hiç yapılmamaktadır (TÜİK, 2019; Tokat İli Tarım İstatistikleri, 2020). Olumlu özelliklerinin çok olması ve ülkemiz iklimine uyum sağlaması nedeniyle tek yıllık çimin ülkemiz hayvancılığı için önemli bir yem bitkisi olduğu öngörülmektedir. Bu taktirle verimli ve bereketli topraklarıyla bir tarım havzası olan Tokat'ta farklı tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.) çeşitlerinin bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesini konu edinen bu çalışma ile tek yıllık çimin Tokat ekolojik koşullarına uyumunun araştırılması, uygun çeşit veya çeşitlerin tespit edilmesi ve yetiştiriciliğinin teşvik edilerek kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.

Materyal ve Metot

Çalışmada bazı özel firmalar ve Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü'nden temin edilen Barmultra II, Barspectra II, Bartigra, Baqueano, Caramba, Devis 2017, Pollanum, Trinova, Vallivert, Venüs, Vespolini 2016 çeşitleri kullanılmıştır. Denemenin yürütüldüğü dönemde uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık 9,7°C iken denemenin yürütüldüğü Ekim-Haziran arası 10,87°C'dir. Uzun yıllara ait toplam yağış 359 mm iken denemenin yürütüldüğü dönemde (Ekim-Haziran) ise 546 mm

olmuştur. Deneme alanı toprakları orta bünyeli, orta kireçli, hafif alkali, tuzsuz ve organik madde bakımından fakirdir.

Deneme 2018-2019 yılları arasında Tokat Merkez'e bağlı Bakışlı Köyü çiftçi tarlasında tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı yürütülmüştür. Ekimler 20 cm sıra aralığı ve 5 m uzunluğunda olan 6 sıraya ekim derinliği 2-3 cm ve tohumluk miktarı her çeşit için 3 kg da⁻¹ olacak şekilde (Çetin, 2017), 21.10.2018 tarihinde yapılmıştır. Ekim öncesi toprak hazırlığı esnasında dekara 10 kg gelecek şekilde DAP, çıkış sonrası ilkbaharda dekara toplam 10 kg olacak şekilde üre, her biçim sonrası da tekrar üre ile gübreleme yapılmıştır (Gültekin, 2008). Çıkışlar 01.11.2018 tarihinde gerçekleşmiştir. Türleri göre değişmekle birlikte buğdaygil yem bitkilerinin genel olarak en besleyici olduğu başaklanma ile çiçeklenme dönemi arasında biçilmesi gerektiği bildirilmiştir (Bakır, 1987). Bu bağlamda hasat bitkilerin başaklanma başlangıcında 14.05.2019, 05.06.2019, 22.06.2019 tarihlerinde 3 defa yapılmıştır. Ekimden hasat zamanına kadar yabancı otlarla el ile mücadele edilmiştir. Bitkinin su ihtiyacına göre her biçim sonrası sulama yapılmıştır.

Araştırmada tek yıllık çim çeşitlerinin ana sap uzunluğu (cm) ve kalınlığı (mm), ana saptaki boğum sayısı (adet), bayrak yaprak eni (mm) ve boyu (cm), yeşil ot verimi (kg da⁻¹), kuru ot verimi (kg da⁻¹) Anonim (2001)'de belirtilen yöntemlere göre incelenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen veriler MSTAT-C istatistik paket programında değerlendirilmiş, ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. Tek bitkilerden elde edilen tüm karakterlere ilişkin veriler yeşil ot ve kuru ot verimi komponentine göre korelasyon analizine tabi tutulmuş ve gerekli istatistik parametreler hesaplanarak, ayrı ayrı çizelgelerde toplanmış ve yorumlanmıştır (Düzgüneş, 1987; Açıköz ve ark., 2004).

Bulgular ve Tartışma

Ana Sap Uzunluğu (cm), Ana Sap Kalınlığı (mm), Ana Saptaki Boğum Sayısı (adet)

Çeşitlerin ortalama ana sap uzunluğu değerleri 81,46 cm olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Yem bitkilerinde ana sap uzunluğunun yüksek olması ot verimini artırmaktadır. Üç biçimin ortalamaları neticesinde elde edilen sonuçlara göre ana sap uzunluğunun biçim sayısı ilerledikçe azalış gösterdiği, bunun sebebi olarak ortalama sıcaklıkların artmasıyla beraber bitkilerin kısa süre içerisinde generatif döneme geçerek erken başaklanması yani erken hasada gelmesiyle birlikte ana sap uzunluğunun kısılması olabileceği kanısına varılmıştır. Daha önceki yapılan çalışmalarda ana sap uzunluğu 50,1-68,3 cm (Çolak ve Sancak, 2016), 48,67-65,66 cm (Aktar, 2019), 83,10-97,77 cm (Pak, 2019), 100,00-107,33 cm (Acar, 2020) aralığında değiştiği görülmektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen değerlerin çalışma sonuçlarımızla benzerlik içerisinde olduğu görülmektedir. Bazı araştırmacılar ana sap uzunluğunun çevre şartları ve yetiştirme koşullarından etkilenen kalıtsal bir özellik olduğunu bildirmişlerdir (Goldberg, 1997). Bu durumda da ana sap uzunluğunun çeşide, ekolojiye ve bölgeye göre farklılık gösterebileceği sonucuna varılmıştır.

Ana sap kalınlığı çevresel faktörlere bağılı olarak değişim göstermekte olup, sap kalınlığının yüksek olması sindirimi zor olan ham selüloz içermesinden dolayı arzu edilmeyen bir durumdur. Çeşitlerin ortalama ana sap kalınlıkları 3,41 mm olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Ana sap kalınlığı benzer çalışmalarda 2,92-3,69 mm (Çolak ve Sancak, 2015), 3,2-3,8 mm (Çetin, 2017), 2,53-3,95 mm (Acar, 2020) olarak bulunmuş olup çalışma bulguları ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Çeşitlere ait ana saptaki boğum sayısı ortalama değeri 5,06 adet olarak tespit edilmiş olup üç biçim değerlendirildiğinde ana saptaki boğum sayısının biçim sayısı ilerledikçe artan ortalama sıcaklıkların etkisiyle azalan ana sap uzunluğuna bağılı olarak azalış gösterdiği görülmüştür. Daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde, Tokat ekolojik koşullarında Caramba çeşidi kullanılarak yapılan bir araştırmada ana saptaki boğum sayısı 3,9 ile 4,7 adet arasında değişmiş, Ankara şartlarında 6 adet tek yıllık çim çeşidinin kullanıldığı çalışmada 3,0-4,0 adet arasında değerler almakla birlikte mevcut çalışma bulgularından daha düşük değerler elde edilmiştir (Darvishi, 2009; Çetin, 2017). Bu durumunda farklı çeşitlerin kullanılmasından ve denemenin yürütüldüğü iklim şartlarından kaynaklanabileceği düşünölmektedir.

Tablo 1. Tek yıllık çim çeşitlerinin ortalama ana sap uzunluğu (cm), ana sap kalınlığı (mm) ve ana saptaki boğum sayısı (adet) değerleri

Çeşitler	ASU (cm)	ASK (mm)	ASBS (adet)
Caramba	83,83 ab	4,59 a	5,12 bc
Trinova	78,13 cd	3,49 cd	4,66 d
Barmultra II	83,72 abc	3,48 cd	5,29 ab
Bartigra	83,32 abc	3,70 bc	5,43 ab
Barspectra II	77,23 d	3,48 cd	5,18 abc
Pollanum	81,44 a-d	3,46 cd	5,51 a
Venüs	86,24 a	3,39 d	5,32 ab
Devis 2017	79,25 bcd	2,88 e	4,77 d
Baqueano	78,48 bcd	2,62 f	4,65 d
Vespolini	81,01 a-d	2,68 ef	4,86 cd
Vallivert	83,38 abc	3,79 b	4,86 cd
Ortalama	81,46	3,41	5,06
Önem seviyesi	*	**	**

*:p<0.05, **:p<0.01, Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur.

Bayrak Yaprak Boyu (cm), Bayrak Yaprak Eni (mm), Yatma Durumu (1-5)

Çeşitlerin ortalama bayrak yaprak boyları 25,65 cm olarak belirlenmiştir. Benzer çalışmalarda bayrak yaprak boyu 14,0-20,0 cm (Darvishi, 2009), 25,27-20,31 cm (Taşsever, 2019) arasında değişiklik göstermiş olup bizim sonuçlarımızla benzerlik göstermektedir. Bayrak yaprak eni bakımından çeşitlerin ortalama 7,43 mm değere sahip oldukları tespit edilmiştir. Benzer çalışmalarda bayrak

yaprak eni 10,6 mm (Darvishi, 2009), 9,540 mm 8,840 mm (Çolak, 2015), 6,43-8,46 mm (Taşsever, 2019) olarak bulunmuş olup mevcut bulgular ile benzer niteliktedir. Farklı ekolojik şartlar, yapılan ekim ve bakım uygulamaları ve farklı çeşitlerin kullanılmasının bulgular arasında benzerlik veya farklılıklar doğurabileceği sonucuna varılmıştır.

Yatma durumu açısından çeşitler bakımından birinci biçimde farklılıklar gözlemlenirken ikinci ve üçüncü biçimlerde azalan bitki boyuna karşılık çeşitlerin hepsi dik bir gelişim formu göstermişlerdir. Ankara ekolojik şartlarında farklı çeşitlerin kullanıldığı çalışmada Pollanum çeşidi dik bir gelişme, Efe-82 çeşidi yarı dik, Caramba ve Cordelia orta, Liberta ve Jeanne yarı yatık bir gelişme göstermişlerdir (Darvishi, 2009). Bitkilerin yatma durumunun genetik yapı ile beraber çeşitlere, iklim ve toprak koşullarına ekim sonrası yapılan bakım işlemlerine bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 2. Tek yıllık çim çeşitlerinin bayrak yaprak boyu (cm), bayrak yaprak eni (mm), yeşil ot verimi (kg/da) ortalama ve toplam değerleri

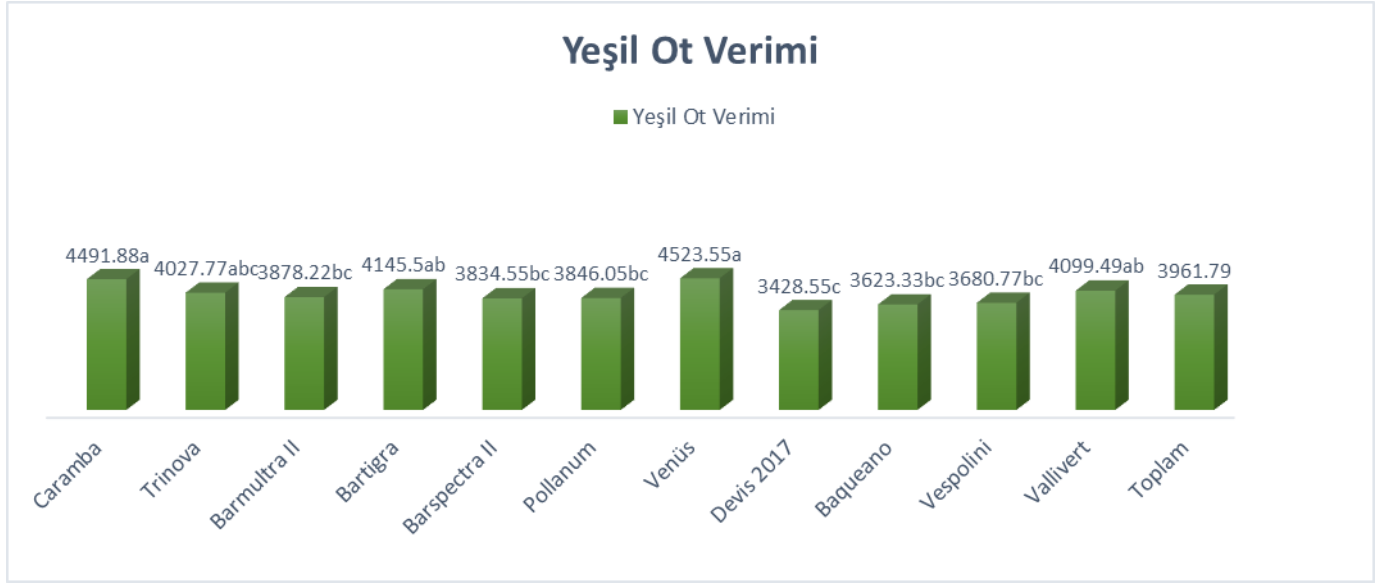
Çeşitler	BYB (cm)	BYE (mm)	Yatma Durumu (1-9)
Caramba	28,41 a	11,0 a	1,00 c
Trinova	22,75 cd	6,92 cde	5,33 a
Barmultra II	27,60 ab	9,59 ab	3,33 a
Bartigra	28,39 a	7,52 cd	3,67 ab
Barspectra II	27,69 ab	6,23 de	1,67 bc
Pollanum	26,46 b	8,20 bcd	1,67 bc
Venüs	27,65 ab	6,36 de	1,67 bc
Devis 2017	22,07 de	6,10 de	1,00 c
Baqueano	20,62 e	6,11 de	3,00 abc
Vespolini	23,86 c	5,11 e	3,33 abc
Vallivert	26,46 b	8,50 bc	1,67 bc
Ortalama	25,65	7,43	-
Önem seviyesi	**	**	*

*:p<0.05, **:p<0.01, Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında fark yoktur.

Yeşil ot verimi (kg da⁻¹)

Yem bitkilerinde yüksek ana sap uzunluğunun ot verimini yükselttiği bildirilmektedir (Baytekin ve Gül, 2009). Çeşitler yeşil ot verimi bakımından değerlendirildiğinde en yüksek yeşil ot verimi Venüs (4523,55 kg da⁻¹) ile aynı istatistiki grupta yer alan Caramba (4491,88 kg da⁻¹), Bartigra (4145,50 kg da⁻¹), Vallivert (4099,49 kg da⁻¹), Trinova (4027,77 kg da⁻¹) çeşitlerinden elde edildiği tespit edilmiştir. En düşük yeşil ot verimi ise Devis 2017 (32428,55 kg da⁻¹) çeşidinden elde edilmiştir. Çeşitler üç biçim değerlendirildiğinde, genel toplamda 3961,79 kg da⁻¹ yeşil ot verimi elde edildiği belirlenmiştir.

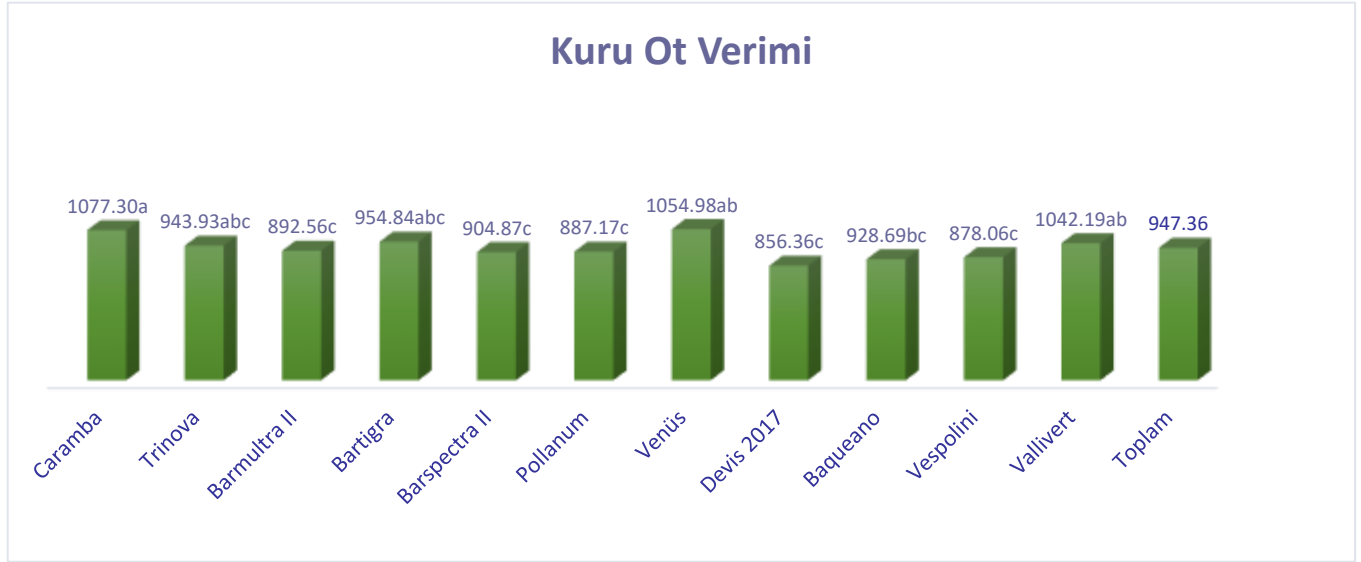
Araştırma neticesinde üç biçim değerlendirildiğinde bir serin mevsim buğdaygil yem bitkisi olan tek yıllık çimde sıcaklıkların artışı ile ana sap uzunluğu biçimler itibariyle azalma göstermiş ve biçimlerde yeşil ot verimi düşmüştür. Bu durum daha önce de bahsedilen ana sap uzunluğunun artan sıcaklıklar ile azalması ile ilişkilendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Benzer çalışmalarda yeşil ot verimleri 2769,8–3244,9 kg da⁻¹ (Kuşvuran ve Tansı, 2005), 2916,8-4544,2 kg da⁻¹ (Çetin, 2017), 1798,06 - 2764,75 kg da⁻¹ (Aktar, 2019), 3377,33-4417,83 kg da⁻¹ (Lale, 2020), 3108-5550 kg da⁻¹ (Acar, 2020) olarak tespit edilmiş olup benzerliklerin ve farklılıkların farklı ekolojik, iklim ve toprak koşulları, ekim ve bakım işlemleri ve farklı çeşitlerin kullanımından kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 1. Tek yıllık çim çeşitlerinin üç biçimine ait toplam yeşil ot verimleri (kg da⁻¹)

Kuru ot verimi (kg da⁻¹)

Kuru ot verimi, yeşil ot veriminin kuru madde oranı ile çarpılması sonucu elde edilen bir parametredir. Bu nedenle, yeşil ot verimi ile kuru ot verimi arasında doğrudan bir ilişki vardır. Genel olarak yeşil ot verimi değerleri ile kuru ot verimi değerleri paralellik göstermektedir. Çeşitler kuru ot verimi bakımından değerlendirildiğinde toplam kuru ot verimi değerleri 856,36 -1077,30 kg da⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir. Biçimler toplamında en yüksek kuru ot verimi Caramba (1077,30 kg da⁻¹) ile istatistik açıdan aynı grupta yer alan Venüs (1054,98 kg da⁻¹), Vallivert (1042,19 kg da⁻¹) Trinova (943,93 kg da⁻¹), Bartigra (954,84 kg da⁻¹) çeşitlerinden elde edilmiştir. Biçimler kendi aralarında kıyaslandığında biçim sayısı ilerledikçe kuru ot veriminin azaldığı görülmüş ve bu durum istatistiksel açıdan önemli (p<0.01) bulunmuştur. Çalışma sonucunda da kuru ot verimi değerleri yeşil ot verimi değerleri ile paralellik göstermiştir. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Benzer çalışmalarda kuru ot verimi 781,9-1222,6 kg da⁻¹ (Çetin,2017), 484,00-746,00 kg da⁻¹ (Aktar, 2019), 808,13- 1051,83 kg da⁻¹ (Lale,2020), 1147,25-1634,43 kg da⁻¹ (Acar, 2020) olarak tespit edilmiş olup benzerliklerin ve farklılıkların farklı iklim ve toprak koşulları, ekim ve bakım işlemleri ve farklı çeşitlerin kullanımından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2. Tek yıllık çim çeşitlerinin üç biçimine ait toplam kuru ot verimleri (kg da⁻¹)

Tek yıllık çimin agronomik ve morfolojik özellikleri arasında saptanan korelasyon katsayıları

Araştırmada yeşil ot verimi (YOV), kuru ot verimi (KOV), ana sap uzunluğu (ASU), ana sap kalınlığı (ASK), bayrak yaprak boyu (BYB), bayrak yaprak eni (BYE), ana saptaki boğum sayısı (ASBS), yatma durumu (YD) gibi bazı tarımsal özellikler Anonim (2001)'e göre incelenmiş ve bu özellikler arasında korelasyon analizi yapılarak özellikler arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Nitekim bitkilerde tarımsal özellikler arası ilişkilerin (korelasyon) önemi dile getirilmiştir. İncelenen karakterler arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları Tablo 3'te verilmiştir. YOV ile ASU, ASK, BYB ve ASBS arasında önemli ve olumlu ilişki bulunmuştur. Sayar ve ark., (2013) mürdümük bitkisinde hem yeşil ot verimi hem de kuru ot verimi ile ana sap kalınlığı arasında önemli ve pozitif yönlü korelasyon saptadıklarını bildirmişlerdir.

KOV ile ASU, ASK ve BYE arasında önemli ve pozitif korelasyon, BYB ve ASBS arasında olumlu ve önemsiz bir korelasyon, ASU ile BYB ve ASBS arasında önemli ve pozitif korelasyon, BYE arasında önemsiz ve olumlu bir ilişki tespit edilmiştir. Okkaoğlu ve ark., (2007) kılıksız bromda ASU ile BYE arasında olumlu bir ilişki tespit ettiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada KOV ile ASU ve BYE arasında olumlu ve önemli bir ilişki tespit ettiklerini bildiren araştırmacılar kuru ot verimi ile ana sap uzunluğunun doğrudan ilişkili olduğunu söylemişlerdir. Dağtekin ve ark., (2020) cindarı bitkisinde bitki boyu ile kuru ot verimi arasında önemli ve olumlu bir ilişki tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Demiroğlu ve ark., (2008) domuz ayrığı bitkisinde ana sap uzunluğu ile yeşil ot verimi, kuru ot verimi, ana sap kalınlığı, bayrak yaprak boyu, bayrak yaprak eni arasındaki ilişkinin çok önemli ve olumlu yönde olduğunu belirlemişlerdir. Çaçan ve İşikten (2019) silajlık mısırdaki bitki boyu ile yeşil ot verimi ve kuru ot veriminin önemli ve olumlu ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

ASK ile BYB, BYE ve ASBS arasında önemli ve olumlu, BYB ile BYE ve ASBS arasında önemli ve olumlu ilişkiler belirlenmiştir. Demiroğlu ve ark., (2008) domuz ayrığı bitkisinde ana sap kalınlığı ile bayrak yaprağı aya boyu, bayrak yaprağı aya eni komponentleri arasında olumlu ve çok önemli

ilişkiler bulunduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada bayrak yaprağı aya boyu ile bayrak yaprağı aya eni arasındaki ilişkiler de çok önemli ve olumlu yönde saptanmıştır. Albayrak ve Ekiz, (2004) kılçıksız bromda ana sap kalınlığı ile kuru ot verimi arasında önemli ve olumlu korelasyon tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar otlak ayrığında ana sap kalınlığı ile kuru ot verimi arasında önemsiz ve pozitif ilişki belirlemişlerdir.

YD ile ASU, ASK, BYB, BYE ve ASBS arasında önemsiz ve negatif korelasyon saptanmıştır. Yatma, ürün verimi ve kalitesini olumsuz etkileyen hasadı güçleştiren istenmeyen özelliklerden biri olduğu için bu beklenen bir sonuçtur. Sönmez (2020) kışlık yulafta yatma durumu ile bitki boyu arasında olumlu ve önemli ilişki tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Tablo 3. Tek yıllık çim çeşitlerine ait incelenen özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (r)

	YOV	KOV	ASU	ASK	BYB	BYE	ASBS	YD
YOV	1,0000							
KOV	0,8433**	1,0000						
ASU	0,7021**	0,5453**	1,0000					
ASK	0,5926**	0,5237**	0,3409	1,0000				
BYB	0,5293**	0,3097	0,4073*	0,6614*	1,0000			
BYE	0,3242	0,3588*	0,2810	0,7583**	0,4773**	1,0000		
ASBS	0,4350*	0,1884	0,5485**	0,3855*	0,6550**	0,2927	1,0000	
YD	0,0292	-0,0319	-0,1825	-0,0979	-0,1648	-0,0223	-0,1174	1,0000

* % 5 düzeyinde önemli, ** % 1 düzeyinde önemli.

Sonuçlar

Ülkemizde kaba yem kaynaklarının verim ve kalite açısından yeterli düzeyde olmadığı gerçeğinden yola çıkarak, yem bitkilerinin tarla tarımı içerisindeki payının artırılması gerektiği ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda tarla tarımı içerisinde tarımı yapılan yem bitkisi çeşitlerinin bölgelerin ekolojik koşullarına uygun olarak yetiştirilmesi gerekmektedir. Tokat ekolojik koşullarında yapılan bu araştırmada; üstün performans gösteren çeşitler bulunmuş (Caramba, Venüs, Vallivert gibi) lakin bu çeşitlerin önerilmesi hususunda nihai sonuçların verim ve kalite özelliklerinin yanı sıra birtakım ekonomik analizlere tabi tutularak verilmesi gerektiği düşünülmüştür. Analiz sonuçları dikkate alındığında; yüksek bir ot verimi amaçlandığında asıl belirleyici faktörlerin ana sap uzunluğu, ana sap kalınlığı, bayrak yaprak boyu ve ana saptaki boğum sayısının olacağı kanaatine varılabilmektedir. Ayrıca bu çalışmanın daha uzun süre denenmesi gerektiği önem arz etmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışma Ayşe Nida (Kayaalp) Kurt'un Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan yüksek lisans tez konusundan üretilmiştir.

Kaynaklar

- Acar E. Bucak ekolojik koşullarında İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* L.) çeşitlerinin bazı verim ve kalite unsurlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:41, Isparta, Türkiye, 2020.
- Açıkgöz N., İlker E., Gökçöl A. Biyolojik araştırmaların bilgisayarda değerlendirilmeleri. İzmir: Meta Basım Yayım: 2004.
- Aktar Y., Polat T., Okant M., Kurt İ. Tek yıllık yemlik İtalyan çim (*Lolium multiflorum* L.) çeşitlerinde bazı bitkisel özelliklerin belirlenmesi. ISPEC Journal of Agricultural Sciences 2021; 5(1): 193-201.
- Albayrak S., Ekiz H. Bazı çok yıllık yem bitkilerinde kuru ot verimi ile ilişkili karakterlerin korelasyon ve path analizi ile saptanması. Journal of Agricultural Sciences, 2004; 10(03): 250-257.
- Anonim. Tarımsal değerleri ölçme denemeleri teknik talimatı, çim türleri. TC. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, Ankara, 2001.
- Avcıoğlu R., Açıkgöz E., Soya H., Tan A. Yem bitkileri üretimi. Türkiye Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi, 1. Cilt, Milli Kütüphane-Ankara, 2000.
- Baytekin H., Gül İ. Yem bitkilerinde hasat, kuru ot verimi ve depolama. Yem Bitkileri, (Avcıoğlu, R., Hatipoğlu, R., Karadağ, Y, Editör) Cilt III. TÜGEM, İzmir: Emre Basımevi: 2009.
- Çaçan E., İşikten S. Bingöl ili ekolojik koşullarında bazı silajlık mısır çeşitleri için uygun ekim zamanının belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 2019; 6(1): 39-49.
- Çetin R. Tokat Kazova şartlarında tek yıllık çimde (*Lolium multiflorum* Lam.) azotlu gübrelemenin ot verimi ve kalitesine etkilerinin belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:59, Tokat, Türkiye, 2017.
- Çolak E. Azotlu gübre dozlarının İtalyan çimi (*Lolium italicum* L.) çeşitlerinin ot verimi, kalitesi ve bazı tarımsal özelliklerine etkisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 62, Ankara, Türkiye, 2015.

- Çolak E., Sancak C. Azotlu gübre dozlarının İtalyan çimi (*Lolium italicum* L.) çeşitlerinin ot verimi ve bazı tarımsal özelliklerine etkisi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi 2016; 25(1): 56-58.
- Dağtekin Z., Hatipoğlu R., Yücel C. Bazı cin darı (*Setaria italica* (L.) P. Beauv) genotiplerinin Çukurova koşullarında agro-morfolojik ve ot kalite özellikleri. ISPEC Journal of Agricultural Sciences 2020; 4(3): 422-434.
- Darvishi A. Bazı tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.) çeşitlerinin morfolojik özellikleri ve yem verimleri, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 48, Ankara, Türkiye, 2009.
- Demiroğlu G., Okkaoğlu H., Avcıoğlu R. Domuz ayrığı (*Dactylis glomerata* L.)'nda verim ve bazı verim komponentleri arasındaki ilişkilerin korelasyon ve path analizi. International Journal of Agricultural and Natural Sciences 2008; 1(2): 49-53.
- Düzgüneş O., Kesici T., Kavuncu O., Gürbüz F. Araştırma ve Deneme Metodları. Ankara, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1987.
- Goldberg S. Reactions of boron with soils. Plant Soil 1997; 193: 35-48.
- Gösterit A., Gürel F., Alagöz M., Türk M. Determination of pollination effectiveness of different pollinators on alfalfa in Lakes Region of Turkey. 45. Apimondia Uluslararası Arıcılık Kongresi, 29 Eylül-4 Ekim 2017, sayfa no:125, İstanbul.
- Gültekin R. Çiftlik gübresinin farklı form ve dozlarının, Çukurova bölgesi koşullarında, tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* lam.)'in ot ve tohum verimi ile ot kalitesine etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 125, Adana, Türkiye, 2008.
- Kuşvuran A., Tansı V. Çukurova koşullarında farklı biçim sayısı ve azot dozunun tek dozunun tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* cv. Caramba)'in ot ve tohum verimine etkisinin saptanması. Türkiye 6. Tarla Bitkileri Kongresi, 5-9 Eylül 2005, s: 797-802, Antalya.
- Lale V. Bingöl şartlarında bazı İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* Lam.) çeşitlerinin ot verimi ve kalitesinin belirlenmesi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:38, Bingöl, Türkiye, 2020.
- Okkaoğlu H., Demiroğlu G., Avcıoğlu R. Kılçıksız brom (*Bromus inermis* Leyss..)'da kuru ot verimi ile bazı verim komponentleri arasındaki ilişkilerin korelasyon ve path analizi. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi 2009; 17(1): 8-15.
- Özkul H., Kırkpınar F., Tan K. Ruminant beslemede karamba (*Lolium multiflorum* cv. Caramba) otunun kullanımı. Hayvansal Üretim 2012; 53(1): 21-26.
- Pak M. Azotlu gübre dozlarının bazı tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* L.) çeşitlerinin ot verimi ve kalitesi üzerine etkileri. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:39, Isparta, Türkiye, 2019.
- Sayar MS., Han Y., Seydoşoğlu S., Başbağ M. Diyarbakır ekolojik koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) hatlarının ot verimi, ot verimini etkileyen özellikler ile özellikler arası

- ilişkilerin belirlenmesi. Türkiye 10. Tarla Bitkileri Kongresi, 10-13 Eylül 2013, sayfa no: 56-64, Konya.
- Sönmez AC. Kışlık yulaf (*Avena sativa* L.) ıslah materyalinde biyolojik verim ve bazı fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology 2020; 10(4): 3042-3051.
- Taşsever MN. Kahramanmaraş şartlarında bazı tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.) çeşitlerinin bitkisel özellikleri ve yem değerleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 55, Kahramanmaraş, Türkiye, 2019.
- Tokat İli 2019 Yılı Tarım İstatistikleri. T.C. Tokat Valiliği, Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, Koordinasyon ve Tarımsal Veriler Şube Müdürlüğü, Tokat. [https://tokat.tarimorman.gov.tr/Belgeler/%C4%B0STAT%C4%B0ST%C4%B0KLER%202019%20KES%C4%B0N%20\(5\).pdf](https://tokat.tarimorman.gov.tr/Belgeler/%C4%B0STAT%C4%B0ST%C4%B0KLER%202019%20KES%C4%B0N%20(5).pdf). (Erişim Tarihi: 11 Şubat 2021), 2020.
- TÜİK. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr> . (Erişim Tarihi: 15 Şubat 2020).

Comparison of Different Nonlinear Models for Degradability In Situ Dry Matter of Maize Harvested at Various Maturity Stages

Hatice HIZLI^{1*}, Numan KILIÇALP²

¹Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute, 01220, Adana/TURKEY

²Gaziosmanpaşa University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, 60240, Tokat/TURKEY

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5451-1397>

² <https://orcid.org/0000-0003-1359-9369>

*Correspondence author: haticehizli@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 06.08.2021

Accepted: 13.10.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Data Analysis

Degradability

Maize silage

Nonlinear model

The goodness of fit

ABSTRACT

The present research was managed to propose alternative nonlinear models to describe ruminal degradation kinetics from data get by the incubation in the rumen using the polyester bag technique. For this purpose, data were used from maize silage harvested at three different maturity stages: medium flowering, milk line, and hard dough. Orskov model was compared to nonlinear models: Monomolecular, Mitscherling, Logistics, and Verhulst models. These models were calculated according to R_{adj}^2 , MSE, MAE, MAPE, and BIC which are goodness of fit criterias, and the Logistics and Verhulst models identified the best model in all of the models. Monomolecular and Mitscherling models indicated similar results with Orskov model. As a result, apart from the Orskov Model, it has been shown that Monomolecular, Mitscherling, Logistics, and Verhulst nonlinear models can be used as well for maize silage obtained in different maturity stages using nylon bag technique in animal feeding studies. Additionally, the Logistics and Verhulst models are capable of calculating the time at inflection point and digestion at inflection point are important advantages specific to these two models.

Farklı Olgunluk Aşamalarında Hasat Edilen Mısırın, in Situ Kuru Madde Parçalanabilirliği İçin Farklı Doğrusal Olmayan Modellerin Karşılaştırılması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 06.08. 2021

Kabul tarihi: 13.10.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Veri Analizi

Sindirilebilirlik

Mısır Silajı

Doğrusal olmayan modeller

Uyum iyiliği kriterleri

ÖZ

Polyester torba tekniği kullanılarak yapılan bu çalışmada, mısır silajının rumendeki inkübasyonundan elde edilen veriler kullanılarak silajların rumende parçalanabilirlik kinetiğinin doğrusal olmayan alternatif modeller önermek için yürütüldü. Bu çalışmada, mısırın orta çiçeklenme, süt olum ve sert hamur olum olmak üzere üç farklı olgunluk döneminde hasat edilmesiyle elde edilen silajların verileri kullanılmıştır. Orskov modeli, Monomolecular, Mitscherling, Logistics ve Verhulst modellerinin yer aldığı doğrusal olmayan modellerle karşılaştırıldı. Bu modeller R_{adj}^2 , MSE, MAE, MAPE ve BIC uyum kriterlerine göre karşılaştırılmış ve Logistics ve Verhulst modelleri tüm modellerde en iyi model olarak bulunmuştur. Monomoleküler ve Mitscherling modelleri, Orskov modeli ile benzer sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak, hayvan besleme çalışmalarında polyester torba tekniği ile farklı olgunluk aşamalarında elde edilen mısır silajı için Orskov Modeli dışında Monomolecular, Mitscherling, Logistics ve Verhulst nonlinear modellerinin kullanılabileceği gösterilmiştir. Logistics ve Verhulst modellerinin en iyi modelleri olarak seçilmelerinin yanı sıra dönüm noktası zamanını ve değerini hesaplayabilmesi bu iki modele özgü önemli bir avantajdır.

To Cite: Hızlı H., Kılıçalp N. Comparison of Different Nonlinear Models For Degradability In Situ Dry Matter of Maize Harvested at Various Maturity Stages. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):12-21.

Introduction

Mathematical models are important because biological interpretations can be made on the parameters they contain (Ratkowsky, 1989; Seber and Wild, 1989). The first mathematical model in animal nutrition studies was used on the dry matter digestibility of feeds (Axelsson, 1939). In the following years, mathematical models gained importance in explaining the values obtained from in situ and in vitro methods used in determining the quality of nutritional feed composition. Ørskov and Donald (1979) used the first method developed by modifying the exponential equation to predict the digestibility of the feed proteins in the rumen. One of the most commonly used feed evaluation methods in ruminant feeding is in situ technique (Ørskov et al., 1980). Lo'pez et al., (1999) used fragmentation curves to determine the degradation kinetics of each feed substrate in the rumen. This method (in sacco) is an important method for determination of degradability of roughage and concentrated feeds in the rumen, and to estimate feed consumption and daily live weight gain of animals. But, there are other many methodologies measuring the affect of degradability of feed samples (Nocek, 1988; Huntington and Givens, 1995). Beuvink and Kogut (1993) conducted a study to estimate the digestive parameters of different meadow silages with different models. Chilibroste et al., (1998) compared the in situ with the in vitro technique using the Groot model. France et al., (1998) used Mitscherlich, Generalized Michaelis Menten and Gompertz and Logistic Growth models to define gas production profiles. Macheboeuf and Milgen (1998) compared the models according to the standard errors (MSE) of the models using five models to estimate the organic matter digestibility of feed in horses. Olaisen et al., (2003) used the in situ method to estimate the concentrations of dry matter and protein digestibility and applied the Von Bertalanffy model to the values they obtained. France et al., (2005) interpreted gas production parameters using Gompertz, sigmoidal, Morgan and France models. Tedeschi et al., (2005) emphasized the importance of using mathematical models in accordance with the experimental data of the in situ technique obtained from animal feeding studies in the information obtained about feeds. Nasri et al., (2006) studied the dry matter and crude protein digestibility of soybeans using different mathematical models and calculated which model is better with various criteria of goodness of fit. Hackmann et al., (2008) measured Relative Feed Value (RFV), related to in situ degradation parameters of grass and legume forages, using DM, CP, and NDF degradation data with six alternative nonlinear models by using some goodness of fit criteria such as residual sums of squares (SSRES), residual mean square (MSRES), Akaike's information criterion (AIC) values. Korkmaz and Üçkardeş (2014) presented an alternative model called Korkmaz-Üçkardeş, which has a logarithmic structure to describe the ruminal degradation kinetics of feeds. Üçkardeş and Efe (2014) investigated the use of some different mathematical models at four different legume forage crops, and the goodness of fit of these models to in vitro gas production data using goodness of fit criteria such as R_{adj}^2 , MSE, AF and BIC.

The purpose of this study was to compare the suitability of defining rumen degradation kinetics from maize silage in five nonlinear models named Orskov, Monomolecular, Mitscherlich, Logistic and

Verhulst and to show their usability. The usability of these models were tested to different goodness of fit criterias such as Adjusted Determination of Coefficient (R_{adj}^2), Mean Square Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Bayes Information Criterion (BIC). For statistical analyses, one-way analysis of variance and then Duncan multiple comparison test were applied. Thus, this study offers researchers working on different forage crops that the option of using different models can be used other than using the Orskov model.

Materials and Method

Material

Animal material and in situ incubations

Nylon bag technique was used to determine the degradability of silage samples in the rumen. For this purpose, a rumen fistula (3,5 cm inner diameter) was replaced to the rumens of approximately 500±0,4 kg live weight, three-year old, three Hostein heifers (Ørskov and Donald, 1979). The animals were weighed and placed in individual compartments before digestion trial started and adapted to the trial conditions for three weeks. Feeds given to heifers; 125% of maintenance level and roughage: concentrate feed rate was prepared at the ratio of 60:40. The heifers were fed twice in a day as recommended (NRC, 2007), at 8,30 in the morning and 16,30 in the evening respectively, with a specific feed ration consisting of alfalfa hay and triticale hay mixture (60:40) as roughage, barley as a concentrate feed, and additional mixture of vitamins and minerals. Clean water always was available in front of the heifers. In situ dry matter degradability for each incubation period was calculated by the equations proposed in Table 1.

In Situ Procedure

Silage samples were dried at 65 °C for 48 hours and then grinded through laboratory hammer mill with a 2,5 mm screen. The 5-gram samples were filled in polyester bags (5x10 cm size and 40-50 microns pore diameter) and then put into the rumen for incubations of 0, 12, 24, 48, 72 and 96 hours to determine DM degradability. The degradation of DM was recorded at each incubation period for each harvesting stage of silages.

Method

Many researchers indicate that the degradation of feeds in the rumen is a function of the length of the feed remaining in the rumen (France et al., 1998; Dhanoa et al., 2007). Table 1 shows Orskov, Monomolecular, Mitscherling, Logistics and Verhulst nonlinear model equations explaining the ruminal degradation kinetics from the data obtained by incubation in the rumen using the polyester bag technique (in situ). In equations (Y), represents digestion at t time, t is incubation time or digestion time, A is parameter total digestion amount, B is the curve asymptote at infinite time, and k rate of degradation of fraction. Time at inflection point (TIP) and Digestion at Inflection Point (DIP) indicate

where the digestion rate is highest. After these points the digestion rate decreases gradually. The ability to calculate TIP and DIP in Logistics and Verhulst models is an important advantage specific to these two models.

Table 1. Model expressions, parameters, inflection points of the non linear equations

Models	Equations	TIP (X-axis)	DIP (Y-axis)
Orskov	$Y = A+B(1 - e^{-kt})$	-	-
Monomolecular	$Y=A-Be^{-kt}$	-	-
Mitscherling	$Y=A(1-Be^{-kt})$	-	-
Lojistic	$Y = A/(1+e^{B - kt})$	$\ln(B)/k$	$A/2$
Verhulst	$Y = A/(1-Be^{-kt})$	$-\ln(-1/B)/k$	$A/2$

A, B, k are model parameters; TIP:Time at Inflection Point; DIP:Digestion at Inflection Point; Y: The degradation rate of dry matter. k: rate of degradation of fraction.

Parameter estimates in the models were made with the Levenberg-Marquardt iteration method by using the NLR procedure in the SPSS program (IBM SPSS, 2011). Models were evaluated by performing ANOVA and Duncan's multiple comparison test on the statistical goodness of fit measurements (MSE, MAE, MAPE and BIC) (Waller and Duncan, 1972; Nasri et al., 2006; Chai and Draxler, 2014; Pham, 2019). When comparing models, MSE MAE, MAPE and BIC, those with the smallest value were rated as the best (Kaps and Lamberson, 2004; Pham, 2019). Also, Piłatowska (2011) reported that using R_{adj}^2 in nonlinear models is more appropriate than using the coefficient of determination (R^2).

Results and Discussion

Table 2 shows the mean and standard error of the goodness of fit criterias, R_{adj}^2 , MSE, MAE, MAPE, BIC, calculated using the digestibility values of maize silage, harvested at MF, ML and HD. Orskov, Monomolecular, Mitscherling, Lojistic and Verhulst models compared with each other using the goodness of fit criterias via Duncan's multiple comparison tests. The R_{adj}^2 value was found the highest harvested maturity stages. In the MF and ML 98%, secondly the HD followed 94% in all models. The results suggested that all models can be used for all harvested maturity stages periods. In those stages, in terms of MSE, MAE, MAPE and BIC criteria values, Logistics and Verhulst models were found both small and similar while Orskov, Monomolecular and Mitscherling models were both highest and similar.

Table 2. Goodness of fit criteria analysis of variance and Duncun test results of nonlinear models of maize silage harvested at three different maturity stages (Mean \pm SE)

Models and Harvest Stage	Goodness of Fit				
	R_{adj}^2	MSE	MAE	MAPE	BIC
MF					
Orskov	0,98 \pm 0,05	316,14 \pm 115,28 ^b	13,80 \pm 3,00 ^b	2,38 \pm 0,47 ^b	3,56 \pm 078 ^b
Monomolecular	0,98 \pm 0,05	316,14 \pm 115,28 ^b	13,80 \pm 3,00 ^b	2,38 \pm 0,47 ^b	3,56 \pm 078 ^b
Mitscherling	0,98 \pm 0,05	316,14 \pm 115,28 ^b	13,80 \pm 3,00 ^b	2,38 \pm 0,47 ^b	3,56 \pm 078 ^b
Lojistic	0,98 \pm 0,05	227,20 \pm 79,94 ^a	12,46 \pm 2,27 ^a	2,14 \pm 0,33 ^a	3,22 \pm 0,59 ^a
Verhulst	0,98 \pm 0,05	227,20 \pm 79,94 ^a	12,46 \pm 2,27 ^a	2,14 \pm 0,33 ^a	3,22 \pm 0,59 ^a
P value	NS	***	**	*	*
ML					
Orskov	0,98 \pm 0,05	471,63 \pm 132,64 ^b	18,74 \pm 2,93 ^b	3,51 \pm 046 ^b	4,84 \pm 0,76 ^b
Monomolecular	0,98 \pm 0,05	471,63 \pm 132,64 ^b	18,74 \pm 2,93 ^b	3,51 \pm 046 ^b	4,84 \pm 0,76 ^b
Mitscherling	0,98 \pm 0,05	471,63 \pm 132,64 ^b	18,74 \pm 2,93 ^b	3,51 \pm 046 ^b	4,84 \pm 0,76 ^b
Lojistic	0,98 \pm 0,05	439,62 \pm 109,38 ^a	18,13 \pm 2,82 ^a	3,39 \pm 053 ^a	4,68 \pm 0,73 ^a
Verhulst	0,98 \pm 0,05	439,62 \pm 109,38 ^a	18,13 \pm 2,82 ^a	3,39 \pm 053 ^a	4,68 \pm 0,73 ^a
P value	NS	***	*	*	*
HD					
Orskov	0,94 \pm 0,08	1410,38 \pm 371,59 ^b	31,10 \pm 5,63 ^b	6,12 \pm 1,01 ^b	8,03 \pm 1,45 ^b
Monomolecular	0,94 \pm 0,08	1410,38 \pm 371,59 ^b	31,10 \pm 5,63 ^b	6,12 \pm 1,01 ^b	8,03 \pm 1,45 ^b
Mitscherling	0,94 \pm 0,08	1410,38 \pm 371,59 ^b	31,10 \pm 5,63 ^b	6,12 \pm 1,01 ^b	8,03 \pm 1,45 ^b
Lojistic	0,94 \pm 0,08	1385,48 \pm 403,02 ^a	30,00 \pm 5,89 ^a	5,81 \pm 1,12 ^a	7,75 \pm 1,52 ^a
Verhulst	0,94 \pm 0,08	1385,48 \pm 403,02 ^a	30,00 \pm 5,89 ^a	5,81 \pm 1,12 ^a	7,75 \pm 1,52 ^a
P value	NS	**	**	*	*

The meaning of a,b letters should be explained Model Comparison was made within the column and in their own Harvest Stages. a was determined as the 1st group, b as the 2nd group. NS: Non significant; *: P< 0,05; **: P< 0,01; ***: P< 0,001; MF: Medium flowering; ML: Milk line; HD: Hard dough.

The mean values of MSE, MAE, MAPE and BIC of the Logistics and Verhuls models in the MF, ML and HD harvest periods were 227,20, 12,46, 2,14 and 3,22; 439,62, 18,13, 3,39 and 4,68; 1385,48, 30,00, 5,81 and 7,75, respectively. Also, avarage values of MSE, MAE, MAPE and BIC at the MF, ML and HD periods were obtained by using Orskov, Monomolecular and Mitscherling models as 316,14, 13,80 and 2,38; 3,56, 471,63, 18,74 and 3,51; 1410,3, 31,10, 6,12 and 8,03, respectively. Each harvest period was compared according to Duncan's multiple comparison test in terms of goodness of fit criteria between the models. Accordingly, the difference between R_{adj}^2 values of all models used for silage maize at different harvest periods was not significant (P>0.05). Likewise, Logistic and Verhulst models according to Goodness of fit all criteria were found significant (P<0.05) in all harvest periods.

Logistic and Verhulst models were observed to be better than Orskov, Monomolecular and Mitscherling models. Üçkardeş and Efe (2014) reported that, The Verhulst model's MSE values and also in some cases the Logistic model's MSE values have had higher values than the Orskov, Verhulst, Janoscheck, Weibull, Bridges, Mitscherling, Monomolecular and Von Bertalanffy models, but they found that those models's MSE values were same to each other. Lopez et al., (1999) and Üçkardeş and Efe (2014) reported that the values of MSE and R_{adj}^2 , did not provide a well data set for the comparison among goodness of fit criterias. In addition, Üçkardeş and Efe (2014) reported that Verhulst and Logistic models showed higher performance than other models in terms of goodness of fit in the comparison made with BIC values. Wang et al., (2011) emphasized that using models with low performance in terms of goodness of fit criteria may be misleading the conclusion. According to France et al., (2005) and Calabro et al., (2005), dependence on a few models should be avoided since different degradation curves can be obtained in the case of using different species of ruminants or the amount of organic matter forage material and also, in some situations flexible models may perform better than Orskov model.

Comparison of Degradation Parameters

The nonlinear models used in this study were investigated and analysed comparatively considering the feed degradation processes in the rumen to produce an alternative solution in this topic according to the literature. Table 3 shows the model parameters of degradation of the maize silaj harvested at MF, ML and HD periods calculated by using Orskov, Monomolecular, Mitscherling, Logistic, and Verhulst models.

The highest average value of parameter A (759,80 in the period of MF; 754,99 in the period of ML; 753,15 in the period of HD) were estimated by using the Monomolecular and Mitscherling models. The parameter A calculated with the Monomolecular and Mitscherling models were higher than that of Orskov, Logistic and Verhulst models (Table 3). The highest mean B parameter values (590,07 for in MF period, 618,60 for in ML period and 608,77 for in HD period) were estimated by using the Orskov, Monomolecular models, but values were different in the results of other models; Mitscherling, Logistic and Verhulst (Table 3). The k parameter's means was found the highest in Logistics model for MF, ML and HD periods, similar in Orskov, Monomolecular and Mitscherling models and, it was negative only in Verhulst model. When the mean and standard errors of the parameter values of the models are examined, Parameter A has been observed to be high in most models but Orskov's model (Table 3).

Table 3. Degradation parameters of dry matter and Correlation, TIP, DIP of the models

Harvest Stage and Models	Degradation Parameters (g/kg Mean ± SE)			Correlation			TIP	DIP
	A	B	k	r _{AB}	r _{AK}	r _{BK}		
MF								
Orskov	169,72±33,95	590,07±25,41	0,03±0,004	-0,84	-,882	,527		
Monomolecular	759,80±18,48	590,07±25,41	0,03±0,004	-0,18	-,895	,527		
Mitscherling	759,80±18,48	0,77±0,04	0,03±0,004	-0,60	-,895	,838		
Lojistic	737,35±10,52	0,66±0,77	0,05±0,005	-0,33	-,751	,787	-8,31	368,67
Verhulst	737,35±10,52	-1,95±0,15	-0,05±0,005	0,33	,751	,787	-2,32	368,67
ML								
Orskov	136,40±37,96	618,60±27,18	0,02±0,005	-0,70	-,874	,296		
Monomolecular	754,99±27,28	618,60±27,18	0,02±0,005	0,03	-,921	,296		
Mitscherling	754,99±27,28	0,82±0,04	0,02±0,005	-0,62	-,921	,778		
Lojistic	722,80±16,11	0,82±0,10	0,05±0,006	-0,31	-,774	,757	-3,97	361,4
Verhulst	722,80±16,11	-2,27±0,23	-0,05±0,006	0,31	,774	,757	-2,17	361,4
HD								
Orskov	144,38±59,20	608,77±45,43	0,02±0,008	-0,31	-,864	-,173		
Monomolecular	753,15±62,38	608,77±45,43	0,02±0,008	0,43	-,946	-,173		
Mitscherling	753,15±62,38	0,81±0,06	0,02±0,008	-0,60	-,946	,704		
Lojistic	706,95±33,23	0,83±0,17	0,04±0,009	-0,28	-,811	,704	-3,72	353,47
Verhulst	706,95±33,23	-2,31±0,39	-0,04±0,009	0,28	,811	,704	-2,15	353,47

MF: Medium flowering; ML: Milk line; HD: Hard dough, Sig.=significant TIP : Time at inflection point on X-axis; DIP: Degradation at Inflection Point on Y-axis; k: rate of degradation of fraction.

The parameter B and k (degradation rate) was estimated similarly in Orskov and Monomolecular Models in all models. It is seen that alternative models compared to Orskov model can also be used in feeding studies. Correlation between parameters A and B was negatively highest in the Orskov model, correlation between A and k was negatively highest in Monomolecular and Mitscherling, and correlation between B and k was positively and equally highest in the Verhulst and Mitscherling Models. Logistic and Verhulst Models have a turning point time and value. TIP values in the Logistic model for MF, ML and HD periods were found as -8,31, -3,97 and -3,72, respectively, and -2,32, -2,17 and -2,15 in the Verhulst model. Remarkably, those negative results states that degradation of the feed starts before placing in the rumen. And also, the value in the Logistics model shows degradation starting time (TIP) earlier than Verhulst model according to comparison of values in both models. Also, according to TIP values shown on Table 3, Logistic's model reflects better performance than Verhulst model's performance. DIP values were similar for MF, ML and HD periods in both models, 368,67, 361,40 and 353,47, respectively. According to the DIP and TIP results, the best digestion in the shortest time was at the term of MF, ML, and HD, respectively. This results cause a striking inference which is

supported by Gürsoy and Macit (2020) that; as the time goes up after harvesting, degradation speed of plant materials slows down because of the level of their water content, and their digestion capacity decreases.

Conclusion

The maize silage, harvested at three different maturity stages, MF, ML and HD of ruminal degradation kinetics, from data obtained by the incubation in the rumen using polyester bag technique (in situ) showed significantly difference among R_{adj}^2 , MSE, MAE, MAPE and BIC criteria values. Logistics and Verhulst models were found the best models in this study. Further, Logistic model results gave even better results than Verhulst model did. Additionally, the ability to calculate the turning point time and value is an important advantage specific to these two models. Monomolecular and Mitscherling models gave similar results with Orskov model. As a result, it has been shown that Monomolecular, Mitscherling, Logistics and Verhulst nonlinear models apart from the Orskov Model can be used for maize silage obtained in 3 different maturity stages obtained by nylon bag technique in animal feeding studies.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Authors' contributions

HH contributed to the project idea, design and writing of the study. NK was responsible for the field trials and laboratory analysis, and the article was reviewed by all authors.

References

- Axelsson J. Die stimulierende Wirkung des Proteins im Tierfutter. *Tierernahrung* 1939; 11: 162-175.
- Beuvink JMW., Kogut J. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. *Journal of Animal Science* 1993; 71:1041-1046.
- Calabro S., Lopez S., Piccolo V., Dijkstra J., Dhanoa MS., France J. Comparative analysis of gas production profiles obtained with buffalo and sheep ruminal fluid as the source of inoculum. *Animal Feed Science Technology* 2005; 124: 51-65.
- Chai T., Draxler RR. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev.*, 2014; 7: 1247-1250.
- Chilibroste P., Tamminga S., Williams B. Effect of days of regrowth of ryegrass (*Lolium perenne*) on fermentation characteristics: comparison of the nylon bag and gas production techniques. *BSAP Occasional Publication* 1998; 22: 40-43. DOI:10.1017/S0263967X00032250
- Dhanoa MS., France J., Siddons RC., Lopez S., Buchanan-Smith JG. A non-linear compartmental model to describe forage degradation kinetics during incubation in polyester bags in the rumen. *British Journal of Nutrition* 2007; 73(1): 3-15. doi:10.1079/BJN19950004

- France J., Lopez S., Dijkstra J., Sanderson R., Dhanoa MS. Models for interpreting in vitro gas production profiles from ruminant foods. *BSAP Occasional Publication* 1998; 22: 79-80. doi:10.1017/S0263967X0002298
- France J., Lopez S., Kebreab E., Bannink A., Dhanoa MS., Dijkstra J. A general compartmental model for interpreting gas production profiles. *Animal Feed Science Technology* 2005; 123-124(1): 473–485.
- Gürsoy E., Macit M. Effect of harvesting time on chemical composition and quality of forage. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering* 2020; 7(9): 168-177.
- Hackmann TJ., Sampson JD., Spain JN. Comparing relative feed value with degradation parameters of grass and legume forages. *Journal of Animal Science* 2008; 86: 2344-2356.
- Huntington JA, Givens DI. The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure 1995. *Nutrition Abstracts Reviews. Series B, Livestock Feeds and Feeding (United Kingdom)*, 1996; 65: 63-93.
- IBM SPSS. *Statistics for Windows*, 2011; Version 20.0 Armonk, NY: IBM Corp.
- Kaps M., Lamberson W. *Biostatistics for animal science*. Cambridge: Cabi; 2004.
- Korkmaz M., Üçkardeş F. An alternative robust model for in situ degradation studies “korkmaz-üçkardeş”. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 2014; 4(1): 45-51.
- Lo’pez S., France J., Dhanoa MS., Mould F., Dijkstra J. Comparison of mathematical models to describe disappearance curves obtained using the polyester bag technique for incubating feeds in the rumen. *Journal of Animal Science* 1999; 77: 1875–1888.
- Macheboeuf D., Milgen V. Comparison of five models used to describe gas accumulation profiles in the gas test method with horse caecal fluid as inoculum. *British Society of Animal Science* 1998; 22: 185-189.
- Nasri MHF., Mesgaran MD., France J., Cant JP., Kebreab E. Evaluation of models to describe ruminal degradation kinetics from in situ ruminal incubation of whole soybeans. *American Dairy Science Association* 2006; 89: 3087-3095.
- Nocek JE. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility a review. *Journal of Dairy Science* 1988; 71: 2051-2069.
- NRC. *Nutrient requirements of small ruminants*. Washington: National Academy of Sciences DC.; 2007.
- Olaisen V., Mejdell T., Volden H., Nesse N. Simplified in situ method for estimating ruminal dry matter and protein degradability of concentrates. *Journal of Animal Science* 2003; 81: 520-528.
- Ørskov ER., Mc Donald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 1979; 92: 499-503.
- Ørskov ER., Hovell DD Deb., Mould F. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production* 1980; 5: 195-213.
- Pham HA. A new criterion for model selection. *Mathematics* 2019; 7: 1215.

- Piłatowska M. Information and prediction criteria in selecting the forecasting model. dynamic econometric models. Nicolaus Copernicus University-Toruń 2011; 11: 21-40
- Ratkowsky DA. Handbook of nonlinear regression models. New York: Marcel Dekker; 1989.
- Seber GAF., Wild CJ. Nonlinear regression. New York: John Wiley & Sons; 1989.
- Tedeschi OL., Fox GD., Saintz DR., Barioni GL., Medeiros RS., Boin C. Mathematical models in ruminant nutrition. Scielo Agriculture 2005; 76-91.
- Üçkardeş F., Efe E. Investigation on the usability of some mathematical models in vitro gas production techniques. Slovak Journal of Animal Science 2014; 47(3): 172-179.
- Waller RA., Duncan DB. Corrigenda: A bayes rule for the symmetric multiple comparisons problem, Journal of the American Statistical Association 1972; 67: 253-255.
- Wang M., Tang SX., Tan SX. Modeling in vitro gas production kinetics: derivation of logistic-exponential (LE) equations and comparison of models. Animal Feed Science Technology 2011; 165(3-4): 137-150.

Yerfıstığında (*Arachis hypogaea* L.) Potasyum Yaprak Gübresi Uygulamasının Verim ve Verim Bileşenleri Üzerine Etkisi

Ahmet YENİKALAYCI^{1*}, Nazife TEMEL², Mehmet ARSLAN³, Nurhayat ÇULLUOĞLU⁴

¹ Muş Alparslan Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, 49250, Muş

² Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Kışla Cd. 01321, Yüreğir/Adana

³ Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Kayseri

⁴ Çukurova Üniversitesi Kozan Meslek Yüksek Okulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kozan/Adana

¹ <https://orcid.org/0000-0002-4955-5723>

² <https://orcid.org/0000-0002-1464-1525>

³ <https://orcid.org/0000-0002-0530-157X>

⁴ <https://orcid.org/0000-0001-9337-5335>

* Sorumlu yazar: a.yenikalayci@alparslan.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 16.06.2021

Kabul tarihi: 06.09.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Yerfıstığı

Potasyum

Yaprak gübresi

Verim

ÖZ

Çukurova’da birinci ürün olarak yetiştirilen NC-7 yerfıstığı çeşidinde potasyum yaprak gübresi uygulamasının verim bileşenleri ve verime etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 2000-2001 yıllarında 2 yıl süre ile tarla denemesi kurulmuştur. Potasyum yaprak gübresi (Agripotas) 300 ml/da/20 lt su dozunda, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme sonrası ve çiçeklenme başlangıcı + çiçeklenme sonrası olmak üzere üç farklı zamanda yapraktan püskürtülerek verilmiştir. Buna göre NC-7 yerfıstığı çeşidinde tohum oranı %55,20-70,80, 100 tohum ağırlığı 79,22-105,33 g, meyve verimi 258,57-547,10 kg/da arasında bulunmuştur. Bu sonuçlara göre yerfıstığında potasyum elementinin farklı gelişme dönemlerinde yaprak gübresi uygulamasının verim ve verim bileşenleri üzerine etkili olmadığı söylenebilir. Ancak potasyum yaprak gübrelemesinin bazı ekstrem durumlarda olumlu etkileri görülebilir. Bitkiler için makro elementlerden olan potasyum gübre ihtiyacının normal koşullarda yaprak gübresi şeklinde uygulanarak bitki ihtiyacının karşılanmasının zor olduğu, ancak bitkinin kökten alabileceği formda topraktan verilmesinin daha uygun olacağı kanaati oluşmuştur.

The Effect of Potassium Foliar Fertilizer Application on Yield and Yield Components in Peanut (*Arachis hypogaea* L.)

Research Article

Article History:

Received: 16.06.2021

Accepted: 06.09.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Peanut

Potassium

Foliar fertilizer

Yield

ABSTRACT

The effect of potassium foliar fertilizer applications on yield and yield components of NC-7 peanut variety grown as a main crop in Çukurova was investigated. For this purpose, a field trial was established in 2000 and 2001 for 2 years. Potassium foliar fertilizer (Agripotas) was sprayed at a dose of 300 ml/da at the beginning of flowering, after flowering and at the beginning of flowering + after flowering stages as three separate applications. Accordingly, kernel ratio of NC-7 peanut variety was found to be 55.20-70.80%, 100 seed weight 79.22-105.33 g, pod yield 2585.7-5471.0 kg/ha. According to these results, it can be said that the use of K element in peanuts as foliar fertilizer in different growth stages does not affect the yield and yield components. However, positive effects of K foliar fertilization can be

seen in some extreme cases. We are of the opinion that it is difficult to meet the needs of the plant by applying K as foliar fertilizer under normal conditions, but it would be more appropriate to apply it in the soil that plant can be easily taken up by the roots.

To Cite: Yenikalaycı A., Temel N., Arslan M., Çulluoğlu N. Yerfıstığında (*Arachis hypogaea* L.) Potasyum Yaprak Gübresi Uygulamasının Verim ve Verim Bileşenleri Üzerine Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):22-32.

Giriş

Baklagiller familyasından, tek yıllık olan ve yazlık olarak yetiştirilen yerfıstığı (*Arachis hypogaea*) önemli bir yağ bitkisidir. Yerfıstığı meyvelerini toprak içerisinde oluşturması özelliği ile diğer baklagil bitkilerinden ayrılır. Hem insan besini hem de hayvan yemi olarak tüketilmesi ve toprağı azotça zenginleştirilmesi yerfıstığının önemini arttırmaktadır. Yerfıstığı tohumları ortalama %18 karbonhidrat, bol miktarda K, Ca, Mg, P ve S gibi mineral içeriği ve ayrıca A, B (Niacin, Inositol vb.) ve E (Tocopherol) vitaminleri yönünden de zengindir. Yağı alındıktan sonra arta kalan küspe, çok değerli hayvan yemi ve yem katkı maddesidir (Walker, 1983).

Yerfıstığı tohumları %50 gibi yüksek oranda yemeklik yağ içerir. Yerfıstığı yağı; %50 oleik asit (C18:1) ve linoleik asit (C18:2), toplam yağ asitlerinin %30'u olmak üzere %80'e kadar doymamış yağ asitleri içerir (Cecil ve ark., 2013). Yerfıstığı üretim maliyetlerinin ülkemizde yüksek olması, yerfıstığı fiyatlarının da yüksek olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, ülkemizde yerfıstığı bitkisel yağ sanayisinde değerlendirilmemekte, genellikle çerez olarak tüketilmektedir (Halevy ve ark., 1987). FAO verilerine göre Dünyada 2019 yılında 29.596.969 ha alanda yerfıstığı ekilmiş ve 48.001.456 ton ürün elde edilmiştir (Anonim, 2021). Türkiye'de toplam 547.747 da alanda ekim yapılmış ve 215.927 ton ürün alınmıştır. Ülkemiz üretiminin ⅔'ü Adana 113.450 (t) ve Osmaniye 53.554 (t) tarafından gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2020).

Türkiye topraklarının genelde potasyumca (K) zengin olduğuna inanılmakta ve bu inanç günümüzde de sürmektedir. Oysa toprak dinamik bir sistemdir ve sürekli değişime uğrar. Tarım teknikleri büyük bir değişime uğramış, sulanan alanlar artmış, besin maddeleri ihtiyacı, yüksek kalite ve verimli değişik çeşitler tarımda kullanılır olmuştur. Günümüzde gübreleme programının şartlara uygun hale getirilmesi, potasyuma dengeli şekilde yer verilmesi gerekmektedir. Bitkiler potasyumu geliştikleri ortamdan K⁺ katyonu şeklinde alır ve azot (N) dışında K⁺ alımı öteki besin maddelerinden daha fazladır. Hızlı ve fazla miktarda potasyum alımı bitki membranlarının potasyumu daha fazla geçirmesindedir (Kacar ve ark., 2002). Bitkilerce alınan K⁺, azot, fosfor ve diğer çoğu besin elementlerinden farklı olarak, bitkide hiçbir kimyasal bileşime girmez ve organik şekilde bağlanmaz. Bu nedenle yetiştirme sezonu bittiğinde K, bitkiden yitebileceği gibi az miktarda da olsa köklerden toprağı aktarılır (Forth, 1988). Bitkilerde K⁺ mobildir ve yaşlı organlardan genç organlara doğru sürekli hareket eder. Bitkiler ihtiyacı olan K⁺'un büyük bölümünü vejetatif gelişme döneminde alır.

Potasyum bitkilerde hayati öneme sahip metabolik, fizyolojik ve biyokimyasal işlevlere sahiptir. Potasyumun bu önemli işlevlerine bağlı olarak bitkilerde ürün miktarı ve kalitesini arttırdığı belirlenmiştir. K⁺ çoğu enzimlerde aktiviteyi artırır yani bitkilerin büyümesinde etken olan en az 60

enzimin potasyumca aktivitesinin artırıldığı saptanmıştır. Potasyum fotosentezi artırır ve gıda oluşumuna etki yapar, potasyum nişasta sentezini ve tanede nişasta miktarını artırır ve yeterli miktarda K^+ 'un bulunması durumunda ise nişasta sentezi artarken nişastanın depo organlarına taşınması ve özellikle de tanede birikimi artar. Potasyum su, bitki besin elementleri ve fotosentez ürünlerinin taşınma ve depo edilmesine yardım ettiği gibi bitkilerin protein içeriğini artırır. Potasyumun ayrıca turgoru düzenleyerek bitkilerde su kaybını ve solmayı önlediği bildirilmiştir (Anonim, 2005).

Yapılan çalışmalarda potasyumun fizyolojik işlevlere bağlı olarak bitki gelişmesini olumlu yönde etkilerken ürün miktarı ve kalitesini de arttırdığı belirlenmiştir. Potasyum bitkilerde kök gelişme ve büyümesini teşvik eder, karbonhidrat sentezini olumlu etkileyen K^+ , bitkilerde sapın daha güçlü gelişmesini sağlayarak bitkilerde yatmanın azalmasını sağlar, soğuğa dayanıklılığı artırır ve olgunlaşmayı hızlandırır (Kacar ve ark., 2002). Potasyum azotun etkinliğini artırır (Anonim, 1974) ayrıca hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığı olumlu şekilde etkiler (Quellas Das Santos, 1979; Tandon ve Sekhon, 1989). Potasyum, bitkilerde protein içeriklerini artırarak gıda ve yem bitkilerinin besin değeri ile kalitesini yükseltir. Ürünlerde raf ömrünün artmasına ve depolama sırasında ağırlık kaybının azalmasını sağlayarak da kaliteyi artırır (Anonim, 2005).

Topraktaki besin elementlerini en iyi şekilde değerlendiren kültür bitkilerinden biri de yerbıstığıdır. Uzun yıllar yerbıstığı ekilen topraklarda bir baklagil olması nedeni ile azotlu gübreye gerek kalmamakta ancak, azot bitkinin büyüme ve gelişmesini teşvik eder. Fosfor tane verimini artırır ancak yerbıstığı, yetişme sezonu boyunca topraktan çok fazla fosfor almaz (Arioğlu, 1999). Topraktaki diğer iyonlardan özellikle potasyum (K) bitki tarafından Ca alımını artırır, bu nedenle ürün kalitesi ve miktarında etkilidir (Ayman ve Helmy, Ramadan, 2013).

Topraktan 100 kg yerbıstığı ürün ve toprak üstü aksamı kaldırıldığında 6,4 kg ile azotun en fazla kaldırılan element olduğu ve bunu 4,2 kg ile magnezyum (MgO) ile 4,1 kg ile potasyumun (K_2O) izlediği bildirilmiştir (Anonim, 2005).

Çukurova Bölgesi'nde yerbıstığında demir klorozu görülen bölgelerde 2 yıl süre ile 3 lokasyonda yürütülen çalışmada ekim öncesi topraktan mineral demir ve ekim sonrası farklı gelişme dönemlerinde yapraktan şelat demir uygulamasının verim ve verim komponentleri üzerine etkisinin araştırılması amacı ile yapılan çalışmada yaprak gübresi uygulamalarında belirgin bir fark oluşmadığı ancak topraktan uygulamalarda bariz bir şekilde olumlu fark olduğu özellikle verimde %45'e kadar artış sağlandığı belirtilmiştir (Yenikalaycı ve ark., 2007). Yine Çukurova Bölgesi'nde yerbıstığında farklı gelişme dönemlerinde çinko yaprak gübresi uygulamasının verim ve verim unsurları üzerine etkisini belirlemek için yapılan çalışmada çinko yaprak gübresi uygulamasının önemli bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Yenikalaycı ve ark., 2020).

Bitkiler tarafından azottan sonra en çok kullanılan elementler arasında yer alan potasyum elementinin toprakta %90-98'i alınamaz halde, %1-10'u yavaş alınabilir halde, ancak %0,1-2'si ise kolaylıkla alınabilir halde olduğu saptanmıştır. Türkiye topraklarının potasyum içeriğinin çıkarıldığı çalışmada ülkemizdeki toprakların %93,7'sinin yüksek oranda K_2O içerdiği, %3,8'inin yeterli, %1,18'inin orta

ve %0,07'sinin ise az potasyum içeriğine sahip olduğu ve birçok bölgede potasyum eksikliği değil fazlalığı olduğu belirtilmiştir (Sönmez ve ark., 2018).

Bu çalışma; yapraktan püskürtülerek, çiçeklenme başlangıcı, çiçeklenme sonu ve çiçek başlangıcı + çiçek sonu olmak üzere iki farklı zaman ve kontrol ile birlikte dört farklı dozda uygulanan K gübresinin NC-7 yerfıstığı çeşidinde verim ve verim bileşenlerine etkisini belirlemek amacı ile yürütülmüştür.

Materyal ve Metot

Çalışma, Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün Araştırma ve Uygulama Alanında 2000-2001 yıllarında iki yetiştirme sezonunda yürütülmüştür.

Çalışmanın bitkisel materyalini Çukurova bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen NC-7 yerfıstığı çeşidi oluşturmuştur. NC-7 çeşidi; Virginia grubundan, yarı yatık büyüme formunda, orta erkenci, tohumları iri ve açık pembe renkli, ortalama %50 yağ oranına sahiptir. Amerika orijinli olan bu çeşit 1979 yılında Kuzey Karolina Eyalet Üniversitesinde geliştirilerek tescillenmiş, Türkiye'de ise Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 1986 yılında tescil ettirilmiştir. Çalışmanın kimyasal materyali potasyum (Agripotas %31,11) yaprak gübresidir.

Denemeler; Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Doğankent 36°49'00" Kuzey enlemi ve 35°16'00" Doğu boylamında yer alan araştırma ve uygulama alanında 2000-2001 yılları yaz sezonunda yürütülmüştür. Tarla denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Deneme alanı topraklarının, organik maddece zayıf (%1,3), kireç yönünden zengin (%18) olduğu, toprak pH'sı hafif alkali (%7,9-8,1), tuz oranı (%0,08) çok düşüktür. Yapılan analizlere göre P₂O₅, K₂O, Zn, Fe ve Cu içerikleri sırası ile 2,36 kg/da, 120,4 kg/da ve 0,45 mg/kg, 4,20 mg/kg ve 1,1 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Deneme alanı toprağı killi-siltli yapıya sahiptir.

Her parselde sıra arası mesafe 70 cm olup yerfıstığı bitkileri sıralara 25 cm aralıklarla ve üç sıra olarak ekilmiştir. Parsel büyüklüğü 14 m², hasat edilen alan 7 m² olup sadece orta sıralar hasat edilmiş, diğer iki sıra kenar tesiri olarak bırakılmıştır. Deneme alanına saf 50 kg/ha azot ve fosfor dozunda taban gübresi uygulanmıştır. NC-7 yerfıstığı çeşidi ilk yıl 18.04.2000 tarihinde ekilmiş ve 02.10.2000'de hasat edilmiştir. İkinci yıl 17.04.2001 tarihinde ekim yapılmış 25.09.2001'de hasat yapılmıştır.

Yapraktan püskürtülerek verilen potasyum (Agripotas %31,11) yaprak gübresi 300 ml/da/20 lt su ile önerilen dozda tüm uygulamalarda eşit şekilde yapılmıştır. Kontrol uygulamasında sadece su püskürtülmüştür. Çiçeklenme başlangıcındaki gübreleme ilk yıl 05.06.2000, ikinci yıl 14.06.2001, çiçeklenme sonu yaprak gübresi uygulamaları ise 05.07.2000 ve 17.07.2001 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Prodenya ekonomik zarar eşiğini geçtiği için 30.07.2001 tarihinde 500 lt/200cc/dekar dozunda hexaflumuron etken maddeli insektisit uygulanmıştır. Araştırmada 100 tane ağırlığı (g), tohum oranı (%) ve dekara meyve verimi (kg/da) özellikleri belirlenmiştir. İlgili gözlemler alındıktan sonra elde edilen verilere MSTAT-C paket programı ile istatistiki analiz yapılmış ve DUNCAN çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada; Adana Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde birinci ürün olarak ekilen NC-7 yerfıstığı çeşidinin her iki yılda da yapraktan püskürtülerek uygulanan potasyum gübresinin (Agripotas) verim ve verim bileşenlerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemelerden elde edilen bulgular aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı Dönemlerde Potasyum Yaprak Gübresi Uygulamasında 100 Tane Ağırlığı, Tohum (İç) Oranı ve Meyve Verimine İlişkin Ortalama Değerler

Uygulamalar	Tohum Oranı (%)			100 Tane Ağırlığı (g)			Meyve Verimi (kg/da)		
	1. Yıl	2. Yıl	Ort.	1. Yıl	2. Yıl	Ort.	1. Yıl	2. Yıl	Ort.
Kontrol	69,60 AB	66,20 B	67,90 A	89,74 BC	84,33 BC	87,04	547,10	258,57	402,83
Çiç. Önce	69,70 AB	60,03 C	64,87 B	82,10 C	97,00 AB	89,55	478,30	324,87	401,58
Çiç. Sonu	70,80 A	55,53 D	63,17 B	79,82 C	90,67 BC	85,24	490,53	306,00	398,27
Ç.Ö+Ç.S	69,10 AB	57,47 CD	63,28 B	79,22 C	105,33 A	92,28	459,50	331,13	395,32
Ortalama	69,80 A	59,73 B		82,72 A	94,33 B		493,86	305,14	
C.V. (%)		3,20			7,97		1. yıl:8,81- 2. Yıl:9,22		
LSD: %5, **:%1		Yıl:1.846**, Uygulama:2,610**, YılxUygulama:3,692**		Yıl:6,275*, Uygulama:önemsiz, YılxUygulama:12,55*			Uygulama:önemsiz,		

*Aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında Duncan testine göre $P \leq 0.05$ düzeyinde fark yoktur. C. Ö.=Çiçeklenme Öncesi; Ç.S.= Çiçeklenme sonrası; **: %1 düzeyinde önemli, *: %5 düzeyinde önemli.

Tohum (İç) Oranı (%)

İncelenen özelliklerden tohum oranı (%) yönünden yıllar, uygulamalar ve yıllar x uygulamalar arasındaki farklılık istatistiksel anlamda %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Denemede yıl x uygulamalar interaksiyonuna göre en yüksek değer %70,80 ile ilk yıl çiçeklenme sonunda yapılan potasyum yaprak gübresi uygulamasından elde edilirken en düşük değer yine aynı uygulamanın ikinci yıl değerlerinden %55,20 olarak elde edilmiştir. Yıllara göre en yüksek tohum oranı birinci yıl %69,80, ikinci yıl %59,73 olmuştur. İkinci yıl denemede prodenya zararının etkili olması nedeniyle tohum oranı düşmüştür. Uygulamalara göre bakıldığında ilk yıl için tohum oranı değerlerinde önemli bir sapma görülmez iken ikinci yıl kontrol uygulamasına göre potasyum yaprak gübresi uygulanan parsellerde tohum oranının önemli derecede düştüğü görülmektedir. Bu oran kontrol uygulamasında %67,90 ile en yüksek iken çiçeklenme sonu potasyum yaprak gübresi uygulamasında ortalama %63 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre K^+ yaprak gübresi uygulamalarının farklı tüm zamanlarında gübrenin olumlu bir etkisi görülmemiştir. Yapılan çalışmalarda her iki büyüme mevsiminde de farklı K oranları verim ve ilgili parametreleri arasında önemli bir farklılık olmadığı, önemli ölçüde etkilenen kriterlerle ilgili olarak, K gübre oranlarından

dolayı belirgin bir eğilim saptanmadığı (Aboelill ve ark., 2012), artan K ilave oranları ile birlikte elverişli K geri kazanımı (AKR) ve potasyum kullanım etkinliğinin (KUE) belirgin şekilde azaldığı bildirilmiştir (Ayman ve Helmy, Ramadan, 2013). Bir başka çalışmada; en yüksek yağ veriminin (1053,7 kg/ha) 40 kg/ha K₂O ve SOP (914,55 kg/ha) uygulamasından alındığı fakat K seviye ve kaynakları arasındaki interaksiyonun önemsiz olduğu, bitkinin iç oranı %67-70 arasında olmasına rağmen farklı uygulamaların bu özellik üzerindeki etkisinin önemli olmadığı sonucu bulunmuştur (Borah ve ark., 2017). İsrail’de yürütülen bir denemede azot olarak üre, P ve K olarak potasyum polifosfat ve kükürt amonyum sülfat formunda verilmiştir. İkinci yılda, en yüksek verim kontrol parsellerinden alınmış ve uygulamalar arasında önemli farklılık bulunmamıştır. Yapraktan verilen besinlerin kullanımının, bu besin maddelerinin topraktaki elverişlilik durumuna bağlı gibi görüldüğü belirlenmiştir (Halevy ve ark., 1987; Zhou ve ark., 2007). N, P ve K gübrelere, yerfıstığı tohumunun protein fraksiyonlarının yetersizliği durumunda lysin ve metionine içerikleri ile oleik asit ve linoleik asit içeriklerini arttırdığını, oleik asidin linoleik aside oranını yükselttiğini, yerfıstığının morfolojik ve fenolojik özelliklerini değil, besin kalitesini iyileştirdiğini ve fıstık ürünlerinin raf ömrünü uzattığını bildirmişlerdir. Yukarıda bahsedilen araştırma bulguları ile bu çalışmadan elde edilen bulgular uyum içerisindedir.

100 Tane Ağırlığı (g)

100 tane ağırlığı (g) yönünden yıl, yıl x uygulamalar interaksiyonu arasındaki fark %5 düzeyinde önemli, uygulamalar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Yıl x uygulamalar interaksiyonuna göre en yüksek ve en düşük ortalama değerler ikinci yıl ve birinci yıl sırası ile 105,33-79,22 g ile Ç.Ö+Ç.S potasyum yaprak gübresi uygulamasından alınmıştır. Bunda da tohum oranına benzer şekilde en düşük ve en yüksek değerler aynı potasyum yaprak gübresi uygulamalarından elde edilmiştir. Uygulamalara göre 100 tohum ağırlığı ortalama değerleri 85,24-92,28 g arasında değişmiş olup en yüksek Ç.Ö+Ç.S potasyum yaprak gübresi uygulamasından, en düşük Ç.S potasyum yaprak gübresi uygulamasından tespit edilmiştir. Yıllara göre birinci yıl 82,72 g, ikinci yıl 94,33 g 100 tohum ağırlığı saptanmıştır. İkinci yıl prodenya zararından dolayı verim ve tohum (iç) oranı düşmüştür. Tane sayısındaki azalışla ters orantılı olarak tohum ağırlığı artmıştır. Potasyumun toprak ve yapraktan uygulanması konusunda yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bir çalışmada K⁺’un yapraktan uygulamasında, en yüksek verimin kontrol parsellerinden alındığı ve uygulamalar arasında önemli farklılık bulunmadığı, yapraktan verilen besinlerin kullanımının, bu besin maddelerinin topraktaki elverişlilik durumuna bağlı gibi görüldüğü belirlenmiştir (Halevy ve ark., 1987). Azot gübresinin fotosentez özellikleri üzerindeki iyileştirme etkisinin daha çok gelişmenin erken dönemlerinde, P’un orta-geç dönemlerde ve K’un ise tüm vejetasyon dönemlerinde görüldüğü bildirilmiştir (Zhou ve ark., 2007). Bir başka çalışmada; tane kalitesi üzerinde iyileştirme etkisi en yüksek olan gübrenin P, ikinci N olduğu ve Ca ile K’un etkisinin belirsiz kaldığı fakat aşırı K gübresi (K⁺ 450 kg/ha) uygulamasının yerfıstığı tanelerinde yağ içeriğini azaltma eğilimi gösterdiği rapor edilmiştir (Zhou ve ark., 2006). Yerfıstığında

potasyum gübresinin toprak veya yapraktan uygulamasının, kontrole kıyasla bakla ağırlığını önemli ölçüde artırmış, en yüksek bakla ağırlığının 32,44g ile $K_{\text{toprak}} + K_{\text{yaprak}}$ uygulamasından alınmış, en düşük (15,12 g) değer kontrolden elde edilmiştir. Ayrıca, K_{foliar} uygulamasının 100 tohum, yaprak ağırlığı ve kabuk yüzdesini kontrole veya potasyumun iki yaprak muamelesine kıyasla arttırdığı sonucu bulunmuştur (Mekki, 2015). Bir çalışmada; yaprak N, P, K ve S gübrelemesinin yerfıstığının verim, tanenin kalite derecesi, ginofor sayısı, kabuk veya besin alımını artırmadığı sonucu bildirilmiştir (Walker, 1982). Çukurova'da yürütülen tarla denemelerinden elde edilen bulgular yukarıda bahsedilen araştırma bulguları ile paralellik göstermektedir.

Meyve Verimi (kg/da)

Verim yönünden ikinci yıl denemede prodenya zararından kaynaklı meyve verimi değerlerinin çok düşük kalmasından dolayı yıllar dikkate alınmamış sadece uygulamalara göre yıllar ayrı ayrı analize tabi tutulmuştur. Buna göre her iki yılda da uygulamalar arasında önemli bir fark oluşmamıştır. Birinci yıl meyve verimi değerleri 459,50-547,10 kg/da arasında bulunmuş, en yüksek kontrol uygulamasında, en düşük ise Ç.Ö.+Ç.S. uygulamasında elde edilmiştir. İkinci yıl değerler 258,57-331,13 kg/da arasında seyretmiş, burada da birinci yıla ters bir şekilde en yüksek Ç.Ö.+Ç.S. uygulamasında, en düşük kontrol uygulamasında bulunmuştur. İki yılın ortalama meyve verimi değerleri birbirine çok yakın 395,32-402,83 kg/da seviyelerinde olmuştur.

İlk yıl kontrol uygulamasına göre potasyum yaprak gübresi uygulamaları ile verimde bir miktar düşüş yaşanmış, ikinci yıl ise kontrol uygulamasına göre yapraktan potasyum uygulamaları ile özellikle Ç.Ö.+Ç.S. olarak iki uygulamanın yapıldığı parsellerden 331 kg/da ile kontrol uygulamasına göre %28 kadar bir meyve verimi artışı gerçekleşmiştir. Bu sonuç; potasyumun bitkiyi fizyolojik olarak hastalık ve zararlılara karşı daha dayanıklı hale getirmesi ile açıklanabilir (Quellas Das Santos, 1979; Tandon ve Sekhon, 1989). Besin uygulamasına verdiği tepki her zaman olumlu olmadığı için öngörülemez bir baklagil olarak tanımlanan yerfıstığı (Veeramani ve Subrahmaniyan, 2011), büyüme mevsiminde uygulanan farklı K oranları ile verim ve ilgili parametreleri arasında önemli bir farklılık olmamıştır (Aboelill ve ark., 2012). Bir çalışmada; azot olarak üre, P ve K olarak potasyum polifosfat ve kükürt amonyum sülfat formunda verilmiş ve ikinci yılda, en yüksek verim kontrol parsellerinden alınmış ve uygulamalar arasında önemli farklılık bulunmamıştır. Yapraktan verilen besinlerin kullanımının, bu besin maddelerinin topraktaki elverişlilik durumuna bağlı gibi görüldüğü bildirilmiştir (Halevy ve ark., 1987). Batı Hindistan'da yetiştirilen yerfıstığı için, standart toprak gübrelemesinin bir ikamesi olarak değil yapraktan K uygulamasının tamamlayıcı olarak kullanılması durumunda yararlı olduğu sonucu doğrulanmıştır (Umar ve ark., 1999). Bir başka çalışmanın sonuçları, yapraktan uygulanan N, P, K ve S gübresinin yerfıstığında verim, tanenin kalite derecesi, ginoforlar, kabuk veya besin alımını artırmadığını göstermiştir (Walker ve ark., 1982). Anılan tüm bu çalışma sonuçları, Çukurova'da yürütülen bu çalışma verileri ile uyum göstermektedir.

Sonuç

Adana'da Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde yürütülen bu çalışmada potasyumun yaprak gübresi şeklinde iki farklı zaman ve üç ayrı dozda uygulanmasının verim ve verim parametreleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Potasyum yaprak gübresi firmanın önerdiği doz üzerinden yerfıstığında iki farklı dönemde çiçeklenme öncesi, çiçeklenme sonrası ve her iki dönemde çiçeklenme öncesi + sonrası olacak şekilde uygulanmıştır. Buna göre Çukurova Bölgesi'nde ana ürün olarak yetiştirilen bölgenin standart çeşidi olan NC-7 yerfıstığı çeşidinde tohum oranı %55,20-70,80, 100 tohum ağırlığı 79,22-105,33 gr, verim 258,57-547,10 kg/da arasında bulunmuştur. Bu sonuçlara göre yerfıstığında potasyum elementinin farklı gelişme dönemlerinde yaprak gübresi olarak verilmesinin verim ve verim bileşenleri üzerine etkili olmadığı söylenebilir. Denemede ikinci yıl prodenya zararından dolayı incelenen özelliklerde genelde bir düşüş olmuştur. Bu dönemde potasyum yaprak gübresi uygulaması 100 tohum ağırlığı ve dekara verimde bir miktar artış göstermiş ancak bu artış istatistiki olarak önemli olmamıştır.

Ancak prodenya zararının olduğu yılda bitkisel ürün alımında katkı sağlamış gibi görünmektedir. Birçok kültür bitkisinde potasyum hayati öneme sahip metabolik, fizyolojik ve biyokimyasal işlemlere sahip olup bu önemli işlemlere bağlı olarak bitkilerde ürün miktarı ve kalitesini arttırdığı belirlenmiştir. Ancak yerfıstığı konusunda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda potasyum gübresinin başlıca gıda, yem ve lifli mahsullerin kalitesi üzerindeki zararlı etkisi, toprak verimliliği ve insan sağlığı için ciddi etkilerinin olduğu belgelenmiştir. Bu nedenle yerfıstığı yetiştiriciliğinde; ürün kalıntılarında K döngüsü, toprak profil rezervlerinin miktarı ve inorganik oluşumu ile bitkinin K⁺ alımının tercihli doğası dikkate alınarak rutin K gübrelemesine ihtiyaç olup olmadığını sorgulayan çalışmaların yapılması kaçınılmaz olmuştur. Bununla birlikte son yıllarda Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü tarafından yapılan bir çalışmaya göre ülkemizde hala birçok bölgede topraklarda potasyum eksikliği değil fazlalığı olduğu belirtilmiştir (Sönmez, 2018). Bu yönden baktığımızda özellikle tarla bitkilerinde potasyum gübrelemesinin yaprakta ya da topraktan yapılmasına karar vermeden önce mutlaka detaylı bir toprak analizi yapılması gerekmektedir.

Çoğu tarla bitkisi yetiştiriciliğinde üreticiler tarafından piyasada satılan çok sayıda makro ve mikro elementleri içeren yaprak gübreleri kullanılmaktadır. Bunlarda firma önerileri doğrultusunda verim ve kaliteyi artırdığı çiftçiler tarafından düşünülmektedir. Yerfıstığında Fe ve Çinko elementlerinde farklı dönemlerde yaprak gübresi uygulamasının önemli bir verim artışı sağlamadığı buna karşın Fe elementinin demir klorozu görülen sorunlu bölgelerde topraktan uygulanmasının önemli verim artışları sağladığı ve klorozu önlediği bildirilmiştir (Yenikalaycı ve ark., 2007; Yenikalaycı ve Arslan, 2020). Yaprak gübresi uygulamalarının dekara uygulama maliyetleri çok fazla olmasa da ne kadar bir verim artışı sağladıkları ve bunun ekonomik analizlerine ilişkin yeteri kadar bilimsel çalışmalar mevcut değildir.

Yapılan bu çalışmaya göre yerfıstığında bitkiler için makro element olan potasyum yaprak gübrelemesinin yerfıstığında farklı gelişme dönemlerinde uygulamasında verim üzerine önemli bir

etkisi saptanamamış olmakla birlikte ekstrem durumlarda olumlu etkileri bariz şekilde görülebilir. Bitkiler için makro elementlerden olan potasyum gübre ihtiyacının normal koşullarda yaprak gübresi şeklinde uygulanması ile bitkinin ihtiyacının karşılanmasının zor ancak bunun bitkinin kökten alabileceği formda topraktan verilmesinin daha uygun olacağı görüşündeyiz.

Teşekkür

Denemenin yürütüldüğü yıllarda yardımlarını esirgemeyen eski adı ile Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yönetimi ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

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

- Aboelill AA., Mehanna HM., Kassab OM., Abdallah EF. The response of peanut crop to foliar spraying with potassium under water stress conditions, Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2012; 6(8): 626-634.
- Anonim. German potash for world agriculture, Kali und Salz AG. Bunteveg 2. Hannover, Germany, 1974, 96.
- Anonim. Tarımda Potasyumun Yeri ve Önemi Çalıştayı, 3-4 Ekim 2005, Eskişehir.
- Anonim. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. 2020 <http://tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 25.03.2021).
- Anonim. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. (Erişim Tarihi: 25.03.2021).
- Anonim. Yerfıstığında Gübreleme, Yerfıstığında gübreleme (toros.com.tr), 2021.
- Arioğlu H. Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:220. Ders Kitapları Yayın No: A-70, 1999 sayfa no: 204.
- Ayman M., Helmy Ramadan MF. Effect of potassium fertilization and gypsum application in combination with magnesium on yield, quality and chemical composition of peanut. Zagazig Journal of Agricultural Research 2013; 40(5): 1-14.
- Borah B., Patil DS., Pawar RB. Enhancing kharif groundnut (*Arachis hypogaea* L.) yield and quality in entisol through potassic fertilizer management. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 2017; 6(11): 4068-4074.

- Cecil F., Anwar F., Shahid SA., Ahmad N. Comparison of physico-chemical properties between two varieties of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil from Pakistan. *Asian J. Chem.*, 2013; 25: 3271-3274.
- Forth HD., Ellis BG. Soil fertility. John Wiley and Sons, New York, 1988, sayfa no: 212.
- Halevy J., Hartzook A., Markovitz T. Foliar fertilization of high-yielding peanuts during the pod-filling period. *Fertilizer Research* 1987; 14: 153-160.
- İşler N. Ülkemizde yerfıstığı yetiştiriciliği. MKÜ Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, 2019, sayfa no:1-8. [Http://www.Mku.Edu.Tr/Files/898-4f462bd0-7bda-4dee-861d-0888a2c48e73.Pdf](http://www.Mku.Edu.Tr/Files/898-4f462bd0-7bda-4dee-861d-0888a2c48e73.Pdf).
- Kacar B., Katkat AV., Öztürk Ş. Bitki fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 198, Vipaş A.Ş. Yayın No: 74. Livane Matbaası, İstanbul. 2002, sayfa no: 563.
- Mekki BB. Yield and yield components of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in response to soil and foliar application of potassium. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 2015; 15(10): 1907-1913.
- Quellas Das Santos J. Das kalium und der virus der blattrollkraheit der kartoffel staude. *Intern. Kali - Briete, Fachg.*, 1979; 23(59): 1-4.
- Sönmez B., Özbahçe A., Akgül S., Keçeci M. Türkiye topraklarının bazı verimlilik ve organik karbon (TOK) içeriğinin coğrafi veri tabanının oluşturulması, proje sonuç raporu. Tagem/Tskad/11/A13/P03, Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara, 2018, 1-86.
- Tandon HLS., Sekhon GS. Potassium research and agricultural production in India. *Potash Rev.*, 1989; 1: 1-11.
- Umar S., Bansal SK., Imas P., Magen H. Effect of foliar fertilization of potassium on yield, quality, and nutrient uptake of groundnut. *Journal of Plant Nutrition*, 1999; 22(11): 1785-1795.
- Veeramani P., Subrahmaniyan K. Nutrient management for sustainable groundnut productivity in India—a review. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 2011; 3(11): 8138-8153.
- Walker ME., Gaines TP., Henning RJ. Foliar fertilization effects on yield, quality, nutrient uptake, and vegetative characteristics of florunner peanuts. *Peanut Science*, 1982; 9(2): 53-57.
- Woodroof JG. Peanut production, processing, products. Avi Pub. Comp. Inc., Connecticut, 1983, sayfa no: 414.
- Yenikalaycı A., Temel N., İbrikçi H., Kaya Z., Arıoğlu H. Kireçli topraklarda yetiştirilen demir noksanlığına duyarlı NC-7 yerfıstığı çeşidinde (*Arachis hypogaea* L) demir noksanlığının gübreleme yoluyla düzeltilmesi. Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi, 25-27 Haziran, 2007, (Sunulu Bildiri), sayfa no: 488-492, Erzurum.
- Yenikalaycı A., Arslan M. Yerfıstığında çinko yaprak gübresi uygulamasının verim üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences* 2020; 10(2): 60-64.

- Zhou LY., Xiang-dong LI., Wang Li-li. Effects of different application rates of N, P, K, Ca fertilizer on photosynthesis properties, yield and kernel quality of peanut. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* 2006; 04. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTTotal-PEAN200602002.htm
- Zhou LY., Tang X., Lin YJ., Li ZF. Effects of different application amount of N, P, K fertilizers on physiological characteristics, yield and kernel quality of peanut. *The Journal of Applied Ecology* 2007; 8(11): 2468-2474.

TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Yapı Sistemlerinin Performans Analizi

Saeid FOROUGHİ^{1*}, S. Bahadır YÜKSEL²

^{1,2} Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

¹ <https://orcid.org/0000-0002-7556-2118>

² <https://orcid.org/0000-0002-4175-1156>

*Sorumlu yazar: saeid.foroughi@yahoo.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.07.2021

Kabul tarihi: 12.11.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Deprem yükü

Performans analiz

Performans noktası

Şekil değiştirme sınırı

İtme analizi

ÖZ

Betonarme yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları ile TBDY (2018)'de tanımlanan şekil değiştirme esaslı hasar sınırları incelenmiştir. Bu çalışmada ilk olarak; kesit geometrisinin, malzeme modelinin ve eksenel yük seviyesinin betonarme taşıyıcı elemanların davranışı üzerindeki etkisi analitik olarak hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan ilişkilerden faydalanarak TBDY (2018)'de tanımlanan şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsallık özellikleri analitik olarak hesaplanmıştır. Analitik çalışma sonuçlarından elde edilen şekil değiştirme üst sınır değerlerine bağlı olarak tasarlanan betonarme yapıların doğrusal olmayan (itme) analizleri yapılarak detaylı bir çalışma yapılmıştır. Performans değerlendirmesi için tasarlanan modellerin tasarım depremi ve en büyük deprem yükü etkisi altındaki yapısal performansı incelenmiştir. Gerçekleştirilen artımsal itme analizleri sonucu farklı tip betonarme taşıyıcı sistemler için elde edilen kapasite eğrileri ve performans noktalarındaki deprem istemleri karşılaştırılmıştır. Betonarme kirişlerde çekme donatısı oranı ve kolonlarda eksenel yük seviyelerinin artması ile kesitlerin maksimum moment taşıma kapasitesi ile plastik mafsallık dönme değeri artmakta, süneklik ile farklı performans düzeyleri için plastik dönme değeri azalmaktadır. Tip 2 binaya göre Tip 1 binaya daha fazla deprem yükü ve kesme kuvveti etkilemektedir. Tip 1 binaya göre Tip 2 binada daha fazla taban kesme kuvveti ve yatay yer değiştirme değeri elde edilmiştir. Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme değeri Tip 1 binaya göre Tip 2 binada daha fazla elde edilmiştir. Tip 2 binanın Tip 1 binaya göre kiriş ve kolonlarında daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Tip 1 binada Tip 2 binaya göre zemin kat kolon ve kirişlerinde daha fazla moment oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her iki tip binanın tüm zemin kat kolon ve kiriş elemanları kontrollü hasar performans seviyesinde olduğu görülmektedir.

Performance Analysis of Reinforced Concrete Structural Systems with Nonlinear Calculation Methods according to TBDY 2018

Research Article

Article History:

Received: 14.07.2021

Accepted: 12.11.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Earthquake load

Performance analysis

Performance point

Deformation limits

Pushover analyzes

ABSTRACT

The nonlinear behavior of reinforced concrete structural members and the deformation-based damage limits defined in TBDY (2018) were investigated. In this study, firstly; the effect of cross-section geometry, material model and axial load level on the behavior of reinforced concrete structural members were calculated analytically. By utilizing nonlinear relationships, deformation damage limits and plastic hinge properties defined in TBDY (2018) were calculated analytically. A detailed study was conducted by performing nonlinear (pushover) analyzes of reinforced concrete structures designed depending on the deformation upper limit values obtained from the analytical study results. Structural performance of

the models designed for performance evaluation have been examined under the design earthquake loads and the greatest earthquake loads. The capacity curves and the earthquake demand at the performance points of designed different types of reinforced concrete systems which is obtained from the pushover results analysis were compared. With the increase in tensile reinforcement ratio in beams and axial load levels in columns, the maximum moment capacity of the sections and the plastic hinge yielding rotation increase, ductility and plastic rotation values for different performance levels decrease. More earthquake loads and shear forces affect the Type 1 building compared to the Type 2 building. Compared to Type 1 building, more base-shear force and lateral displacement values were obtained in Type 2 building. Linear elastic spectral displacement values of the first mode were obtained more in Type 2 building compared to Type 1 building. More plastic rotations occur in beams and columns of Type 2 buildings than Type 1 buildings. More moments occur in the ground floor columns and beams in Type 1 building compared to a Type 2 building. When the results obtained are examined, it is seen that all ground floor column and beam elements of both types of buildings are in the controlled damage performance level.

To Cite: Foroughi S., Yüksel SB. TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Yapı Sistemlerinin Performans Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):33-55.

Giriş

Mevcut veya yeni tasarlanacak betonarme yapıların sismik değerlendirmesinde, betonarme taşıyıcı elemanların yapısal davranışını tahmin etmek çok önemlidir. Betonarme taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan davranışlarının doğru hesaplanması, sismik etkiler altında binaların kapasitesinin güvenilir bir tahminini sağladığı için önemli çalışma konusu olmuştur. Depreme maruz betonarme bina taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet ve şekil değiştirme istemlerinin hesaplanması amacıyla doğrusal olmayan davranış yöntemleri kullanılmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY, 2018) göre betonarme taşıyıcı elemanların farklı performans düzeyleri için şekil değiştirme ve iç kuvvetlerin hesaplanmasında; malzeme dayanımları, kesitte donatı konfigürasyonu, kullanılan sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, kesitlerin moment-eğrilik, normal kuvvet etkileşim ilişkisi gibi doğrusal olmayan davranışları ile plastik mafsal özellikleri dikkate alınmaktadır. Daha sonra yönetmeliklerde tanımlanan şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve hasar bölgeleri hesaplanmaktadır. Betonarme yapılar için farklı tasarım parametrelerine göre TBDY (2018)'e göre yukarıda belirtilen değerlerin her bir taşıyıcı eleman için hesaplanması gerekmektedir.

Doğrusal olmayan yöntemlerde amaç, binanın doğrusal olmayan davranışını yansıtan bir model üzerinde, deprem yönetmeliklerinde belirlenen kriterlere uygun olarak, talep noktasındaki kesit değerlerinin ve doğrusal olmayan davranış istemlerinin hesaplanmasıdır (Sönmez, 2012). Doğrusal olmayan davranış yöntemleri mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra yeni yapılacak binaların tasarımının yeterli düzeyde olup olmadığını belirlemek amacıyla da kullanılmaktadır (Yüksel ve Yağlıkcı, 2019). Betonarme bir yapının deprem güvenliğinin belirlenmesi için ilk olarak her bir taşıyıcı elemanın kesit hasar sınırı ve seviyesinin belirlenmesi gereklidir (Ulutaş ve ark., 2015). Doğrusal olmayan değerlendirme yöntemiyle yapılan analiz sonucu kesitte oluşan şekil değiştirme sınırının, yönetmeliklerde tanımlanan hasar seviyesine karşı gelen şekil değiştirme üst sınır değerleri ile karşılaştırılarak hasar seviyesi elde edilir (Ulutaş,

2019). Mevcut betonarme yapıların performans değerlendirmesinde, yönetmelikler genel olarak taşıyıcı elemanların performanslarını plastik dönme kapasiteleri üzerinden belirlemektedir (Elçi ve Göker, 2018). Eleman hasarlarının tarifinde kullanılan şekil değiştirme sınırları, etkin kesit rijitliklerinin hesabı, yerel zemin sınıflarının tarifi, binalarda oluşacak deprem talebini tarif eden spektrumların hesabı ve performans değerlendirmesi sırasında göz önüne alınması gereken performans hedefleri de dahil olmak üzere TBDY pek çok yeni kriter getirmiştir (Balıkçı, 2019). TBDY (2018)'de şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) için hesap ve değerlendirme esasları verilmiştir. Ayrıca kullanım amacına göre mevcut ve yeni binaların performans esasları da belirtilmiştir (Dayan ve Şahin, 2019).

Deprem etkisi altındaki betonarme yapıların performans değerlendirmesinde dikkate alınan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin temelini oluşturan, şekil değiştirme ve yer değiştirmeye dayalı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak betonarme taşıyıcı eleman kesitlerinin geometri ve malzeme değişimleri açısından doğrusal olmayan yöntemlerde, belirli bir deprem etkisindeki binanın yer değiştirme istemine ulaşıldığında, beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Şahin, 2010). Şekil değiştirme esaslı tasarım yöntemleri; malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle hesaplanan şekil değiştirme sınır değerleri, deprem yönetmeliklerinde farklı performans düzeyleri için tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılarak taşıyıcı sistem elemanlarının hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir (Foroughi ve Yüksel, 2019). TBDY (2018) ile doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin deprem tasarım sınıfı (DTS) ne olursa olsun, bina yükseklik sınıfı (BYS) 1 olan tüm yapılarda, ayrıca BYS 2 ve 3, DTS 1a ve 2a olan yapılarda kullanılması zorunlu tutulmuştur (Özer ve Yüksel, 2020).

Performans Analizi

Betonarme yapıların tasarımında taşıyıcı elemanların davranışını etkileyen tüm tasarım parametrelerinin bilinmesi öncelikle elemanları ve sonra özelden genele doğru tüm yapı sistemini etkileyeceğinden deprem performansı açısından çok önemlidir (Meral, 2018). Yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesi için izlenecek yol; deprem etkileri sonucunda oluşan talep eğrilerinin belirlenmesi, kapasite değerlerinin belirlenmesi, kapasite ve talep değerlerinin karşılaştırılması, deprem yönetmeliklerinde tanımlanan deprem performans değerlendirmesi ile sonuçlandırılmasıdır. Yapı sistemlerinde taşıyıcı sistem elemanlarının hasar bölgelerine göre binaların performans değerlendirilmesi yapılır. TBDY (2018)'de mevcut veya yeni tasarlanacak betonarme yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde, bina kullanım sınıfı (BKS), bina yükseklik sınıfı (BYS) ve binanın deprem tasarım sınıfı (DTS) dikkate alınarak şekil değiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımı önerilmektedir. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yönteminde doğrusal olmayan davranış modelleri ve hesap yöntemleri dikkate alınarak performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizinde, yapı sistemine etkiyen yatay deprem kuvvetleri yapı yüksekliği boyunca çeşitli esaslara göre dağıtılmakta, deprem yer değiştirme istemine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Ardından taşıyıcı sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yatay yer değiştirmesi eğrisinden yola çıkılarak elde edilen itme eğrisi ile yapının oturduğu yerel zemin koşulları ve deprem karakteristiklerine göre elde edilen talep eğrisi birlikte değerlendirilerek yapısal performans elde edilmektedir. Deprem performansını belirlemek amacıyla yapı sisteminin talep eğrisinin belirlenmesi için yapı sisteminin hedef performansı ve hedef performansa göre deprem etkisi belirlenir. Bina performans hedeflerinin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında TBDY (2018)'de betonarme binalar için Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyleri tanımlanmaktadır. Deprem etkisi altında bina performans hedefleri deprem yer hareketi düzeyleri (DD) altında hedeflenen ve tanımlanan bina performans düzeylerini ifade eder. TBDY (2018) kapsamında deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1), deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2), deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3) ve deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4) olarak dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Betonarme elemanların kapasite eğrisinin belirlenmesi kapsamında ilk olarak binaların bilgi düzeyi, malzeme dayanımları ve taşıyıcı sistemlerin plastik mafsallık özellikleri belirlenir. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, TBDY (2018)'de açıklanan itme yöntemleri (tek modlu itme yöntemleri ve çok modlu itme yöntemleri) ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. Tek Modlu İtme Yöntemleri, $BYS \geq 5$, hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1,4$ ve birinci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranının en az 0,70 koşulu sağlayan binalar için kullanılabilir. Kapasite ve talep eğrilerinin karşılaştırılabilmesi için aynı eksen takımında olmaları gerekmektedir. İtme hesabında ilk olarak taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ilişkisi olarak itme eğrisi elde edilir (Şekil 1a). Elde edilen bu eğrinin koordinatları Denklem (1 ve 2)'ye göre dönüştürülerek modal tek serbestlik dereceli sisteme ait modal ivme ($a_1^{(i)}$) - modal yer değiştirme ($d_1^{(i)}$) ilişkisi olarak modal kapasite diyagramı elde edilir (Şekil 1b). Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirme ($d_{1,max}^{(x)}$), doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak tanımlanır (Denklem 3).

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} ; \quad (m/s^2) \quad (1)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}} ; \quad (m) \quad (2)$$

$$d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1); \quad (m) \quad (3)$$

$S_{di}(T_1)$, itme analizinden taşıyıcı elemanın doğrusal davranışı esas alınarak hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu (T_1)'e karşı gelen ve doğrusal elastik spektral yer değiştirmeye ($S_{de}(T_1)$) bağlı olarak Denklem (4) ile hesaplanır. Doğrusal elastik spektral yer değiştirme $S_{de}(T_1)$, itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme $S_{ae}(T_1)$ ve ω 'ya bağlı olarak Denklem (5) ile hesaplanabilmektedir.

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) , \quad (m) \quad (4)$$

$$S_{de}(T_1) = \frac{S_{ae}(T_1)}{(\omega_1^{(1)})^2} , \quad (m) \quad (5)$$

C_R , spektral yer değiştirme oranı ve $\omega_1^{(1)}$ itme adımında yenilenen serbest titreşim hesabından bulunan birinci mod doğal açısal frekansıdır. Spektral yer değiştirme oranı (C_R) başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'e bağlı olarak iki farklı yolla belirlenir. R_y , itme hesabından doğrudan elde edilen akma dayanımına bağlı bir büyüklüğü ifade etmektedir ve Denklem (7) ile hesaplanır. Denklemde f_e ve $S_{ae}(T_1)$, elastik dayanım talebini ve ona karşı gelen elastik spektral ivmeyi, f_y ve a_{y1} ise akma dayanımını ve ona karşı gelen akma sözde-ivmesini temsil etmektedir. $\mu(R_y, T_1)$, akma dayanımı azaltma katsayısı ve birinci doğal titreşim periyoduna göre hesaplanan süneklik talebidir.

$$C_R = \frac{\mu(R_y, T_1)}{R_y} \quad (6)$$

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (7)$$

Eğer $T_1 > T_B$ ise $C_R = 1$ olarak elde edilir. $T_1 > T_B$, durumu için doğrusal olmayan spektral yer değiştirmenin nasıl belirlendiği Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Eğer $T_1 \leq T_B$ ise C_R , Denklem (8)'den hesaplanır. Şekil 2(b)'de gösterilen $a_{y1}^{(0)}$ esas alınarak C_R Denklem (8)'deki gibi tanımlanır. Denklemde T_1 , birinci moda ait doğal titreşim periyodu ve T_B , yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodudur.

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 ; T_1 \leq T_B \quad (8)$$

Denklem (4)'e göre hesaplanan $S_{di}(T_1)$ esas alınarak eşdeğer akma noktasının eksenleri, Şekil 2(c)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_y ve C_R değerleri tekrar hesaplanır. Böylelikle S_{di1} belirlenir. S_{di1} değerinden hareketle tepe yer değiştirme istemi

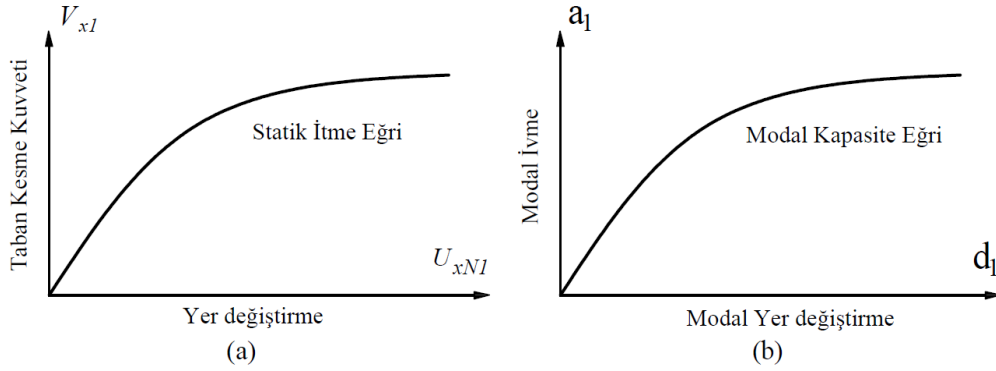
$(u_{xN1}^{(p)})$, Denklem (9) ile uzunluk (mm, cm, m vb.) cinsinden bulunur. Tepe yer değiştirme istemi $(u_{xN1}^{(p)})$, yapı sisteminin performans noktasıdır.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (9)$$

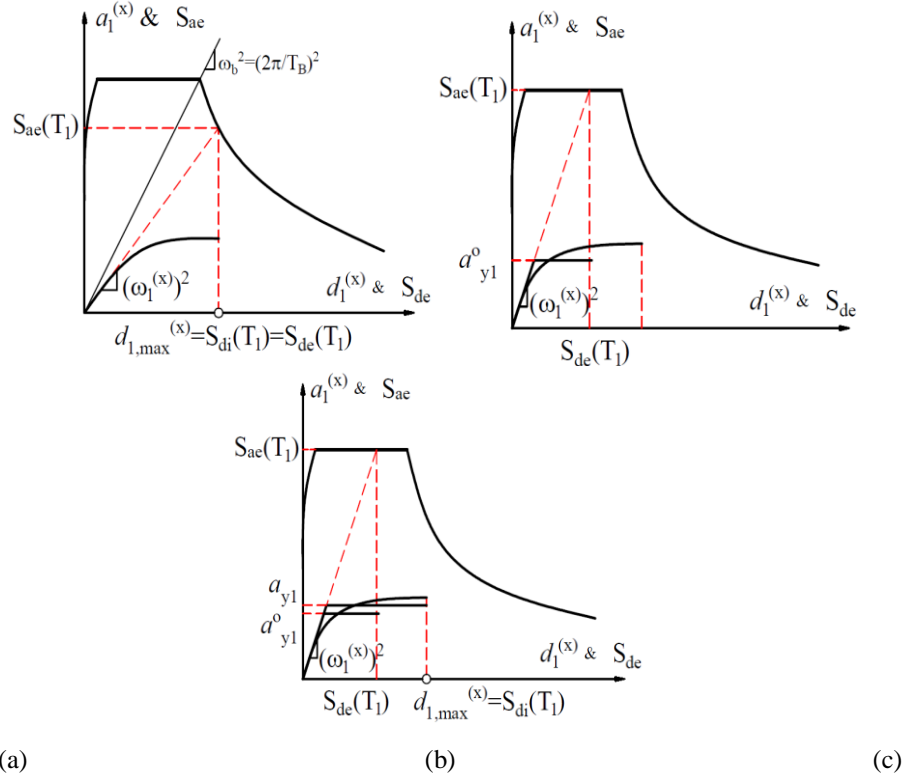
Deprem doğrultusunda birinci moda ait modal katkı çarpanı (Γ_{x1}) Denklem (10)'dan hesaplanabilmektedir. x deprem doğrultusunda taşıyıcı elemana ait başlangıç adımının doğrusal elastik davranış için tanımlanan M_1 ve L_{x1} parametreleri Denklem (11)'den hesaplanır. Denklemde m_i binanın i 'inci katının kütlesi, Φ_{xin} kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda n 'inci mod şeklinin i 'inci katta x eksenine doğrultusundaki yatay bileşenidir.

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (10)$$

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin}, \quad M_n = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin}^2 \quad (11)$$



Şekil 1. Statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi (TBDY, 2018)



Şekil 2. Performans noktasının belirlenmesi (TBDY, 2018).

Birim Şekil Değiştirme ve Plastik Dönme Sınırları

TBDY (2018)'de sünek yapısal elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar sınır ve hasar bölgesi tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere ifade edilen kesit hasar sınırları, TBDY (2018)'de beton ve donatı çeliği için şekil değiştirme değerleri (ϵ_c , ϵ_s) Denklem (12) ve plastik dönme değerleri (θ_p) Denklem (13)'ten hesaplanır. Denklem (12)'de; a) dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdeler, b) dairesel kesitli kolonlar için kullanılmaktadır. Denklem (13)'te; ϕ_u göçme öncesi eğrilik, ϕ_y akma eğriliği, L_s kesme açıklığı, L_p plastik mafsal boyu, d_b boyuna donatı çapıdır. Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı (ω_{we}) Denklem (14)'ten hesaplanmaktadır. α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ hacimsel enine donatı oranı, f_{ce} ve f_{ywe} beton ve donatı çeliğinin beklenen dayanımlarıdır. Dikdörtgen sargı donatısının etkinlik katsayısı (α_{se}) Denklem (15) ve hacimsel enine donatı oranı (ρ_{sh}) Denklem (16) ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s^{(G\ddot{O})} &= 0,40\epsilon_{su} \\
 \epsilon_s^{(KH)} &= 0,75\epsilon_s^{(G\ddot{O})} \\
 \epsilon_s^{(SH)} &= 0,0075
 \end{aligned}
 \tag{12a}$$

$$\begin{aligned}
a: \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \\
b: \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \\
\varepsilon_c^{(KH)} &= 0,75\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \\
\varepsilon_c^{(SH)} &= 0,0025
\end{aligned} \tag{12b}$$

$$\begin{aligned}
\theta_p^{(G\ddot{O})} &= \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0,5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4,5\phi_u d_b \right] \\
\theta_p^{(KH)} &= 0,75\theta_p^{(G\ddot{O})} \\
\theta_p^{(SH)} &= 0
\end{aligned} \tag{13}$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, \min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \tag{14}$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_o} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_o} \right) \tag{15}$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s}, \quad f_{ywe} = 1,2f_{yk}, \quad f_{ce} = 1,3f_{ck} \tag{16}$$

A_{sh} enine donatının alanını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu, s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki mesafeyi göstermektedir. Dairesel en-kesitli kolonlarda dairesele/spiral sargı donatısının etkinlik katsayısı ile hacimsel oranı Denklem (17-18)'de verilmiştir. Burada A_{os} spiral donatısının alanı, D ise çekirdek beton çapıdır. Dairesel etriye için $n=2$, spiral donatı için $n=1$ alınacaktır.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D} \right)^n \tag{17}$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{os}}{D_s} \tag{18}$$

Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme kesitlerin etkin kesit rijitlikleri $(EI)_e$ Denklem (19)'a göre belirlenecektir. Denklemde; M_y ve θ_y çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \tag{19}$$

Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemlerin akma durumu için yer değiştirmiş plastik mafsal akma dönmesi (θ_y) Denklem (20) ile hesaplanmalıdır. Eğrilik süneklik katsayısı $\mu=\phi_u/\phi_y$ olarak elde edilir. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0,5h$).

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0,0015 \eta \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (20)$$

Betonarme kolon ve kirişler, çerçevesel yapıların sismik davranışını belirleyen ana taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarımı için kolon ve kiriş elemanların davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir (Foroughi ve ark., 2020). Mevcut veya yeni tasarlanacak betonarme yapıların sismik değerlendirmesinde, kolon ve kiriş kesitlerinin moment-eğrilik, normal kuvvet etkileşim ilişkileri ile farklı performans düzeylerine göre şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsal özellikleri araştırılmıştır. Betonarme binaların deprem performansının belirlenmesi için hesaplanan doğrusal olmayan ilişkilerden faydalanarak TBDY (2018)'de betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsal özellikleri analitik olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de detay ve özellikleri verilen betonarme kiriş ve kolonların moment-eğrilik, normal kuvvet etkileşim ilişkileri ile farklı performans düzeyleri için şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsal özellikleri farklı tasarım parametrelerine göre hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Betonarme kolon kesitleri için farklı tasarım parametreleri dikkate alınarak normal kuvvet-moment etkileşim diyagramları elde edilmiştir. Boyutları, donatı oranı ve donatı konumları bilinen betonarme kare ve dairesel en-kesitli kolonların SAP2000 (Ver.20.2.0) programına göre normal kuvvet-etkileşim diyagramını oluşturmak, kolon kesiti için verilen bir eksenel yük altında moment kapasitesini ve verilen bir moment altında kesitin eksenel yük kapasitesini hesaplamaktır. Sonuçlar tablolarda ve grafiksel olarak sunulmaktadır. Farklı performans düzeyleri için yapısal elemanların plastik mafsal bölgeleri için akma ve plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Kapsamlı analiz hesaplamalarına dayanan bu çalışmada kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanların tasarım parametreleri değiştirilerek doğru bir şekilde hem doğrusal olmayan davranış hem de şekil değiştirme esaslı hasar sınırları elde edilerek incelenmesi planlanmıştır. Bu durumda taşıyıcı elemanların eksenel yük seviyeleri, boyuna donatı oranı, enine donatı oranı ve malzeme özellikleri için kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanlar için analizlerde TBDY (2018)'e göre deformasyon kapasiteleri ve plastik mafsal özellikleri dikkate alınarak artımsal itme analizi yöntemiyle deprem etkileri altında bina taşıyıcı sistemlerinin performans değerlendirmesi için iki farklı taşıyıcı sisteme sahip 5 katlı konut binası tasarlanmıştır. Tasarlanan betonarme binaların TBDY (2018)'e göre doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemiyle performans analizleri ETABS (Ver.18.1.1) programı yardımı ile yapılmıştır. Bu çalışmanın kapsamında dikkate alınan binalar TBDY (2018)'de yer alan hükümler göz önüne alınarak

modellenmiş, kapasiteleri, talepleri ve elde edilen bina performansları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. TBDY (2018)'de betonarme yapı sistemlerinde doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılabilmesi için başlangıç aşamasında yapılması gereken işlemler maddeler halinde özetlenmiştir. Performans değerlendirmesi için dikkate alınan model, amacına dayalı olarak tasarım depremi ve en büyük deprem yükü etkisi altındaki yapısal performansı incelenmiştir. Çalışmanın bütününden her bölüm için analiz sonuçları karşılaştırarak yorumlanmıştır.

Materyal ve Metot

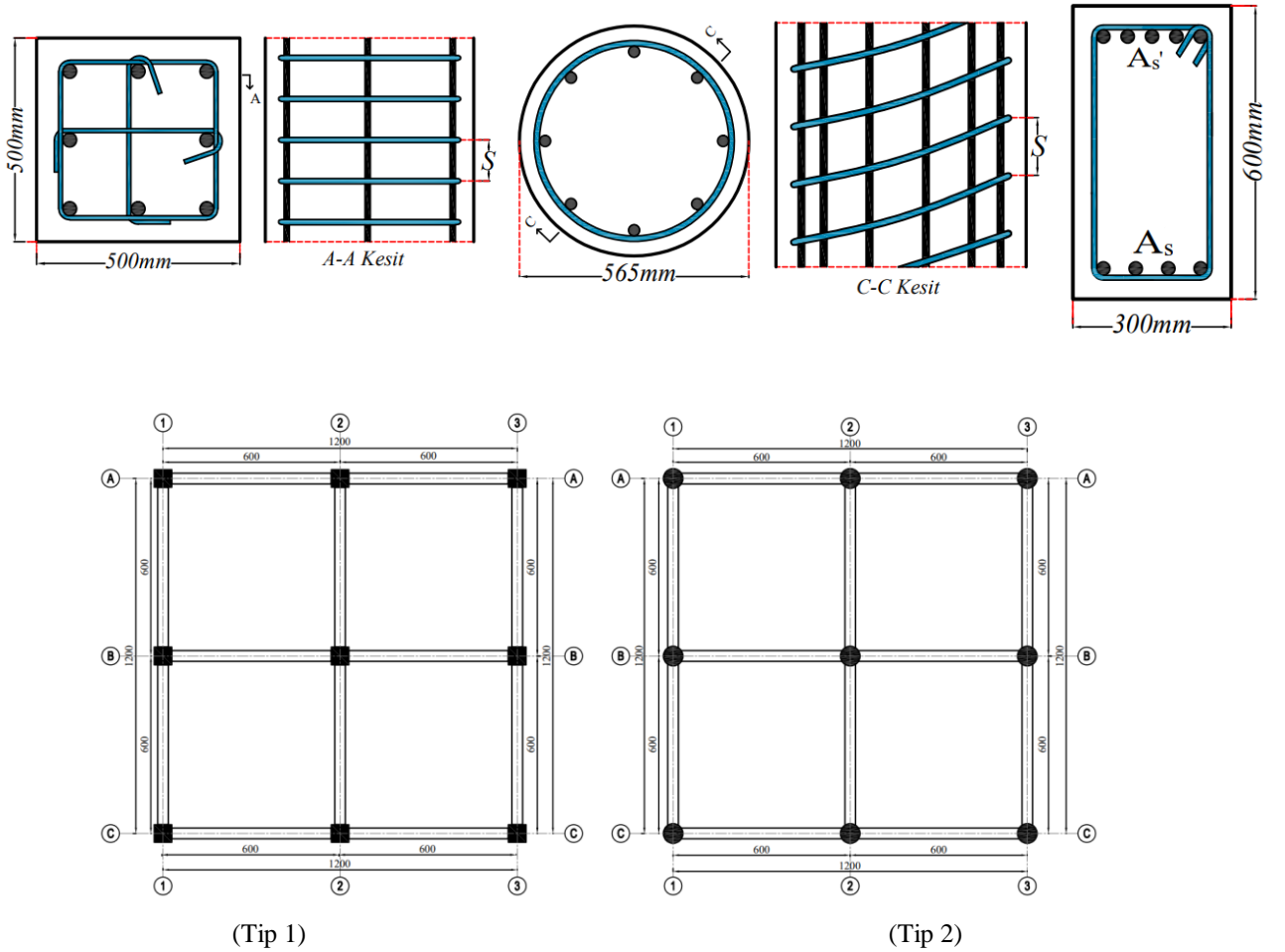
Bu çalışmada, tasarlanan 5 katlı betonarme konut yapısının iki farklı kolon geometrisi için TBDY (2018)'e göre doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemiyle bina taşıyıcı sistemlerinin performans analizi yapılmıştır. Performans analizi için 5 katlı betonarme taşıyıcı sisteme sahip konut binası tasarlanmıştır. Zemin+4 normal kattan oluşan konut binasının kat yüksekliği 3,5m olup toplam yüksekliği 17,5m'dir. Kare ve dairesel en-kesitli kolonlara sahip iki farklı bina tipi tasarlanmıştır. Kolon elemanlar kare en-kesit için 500mm×500mm boyutlarında ve dairesel en-kesit için 565mm çapında tasarlanmıştır. Her iki tip binada da kiriş boyutları 300mm×600mm olarak alınmıştır. Kolon ve kirişler için verilen boyutlar tüm katlarda sabittir. Döşeme sistemi ise 150mm kalınlığında plak döşemedir. Analizlerde dikkate alınan betonarme kolon ve kirişlerin tipi, boyutları ve donatıları Tablo 1'de verilmiştir. Tasarlanan betonarme kolon ve kirişlerin kesit geometrisi ile bina kat kalıp planı Şekil 3'te verilmiştir. Tasarlanan betonarme yapının geometrik bilgileri, deprem parametreleri, zemin parametreleri ile malzeme bilgileri detaylı olarak Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tasarlanan yapı sistemlerinde normal kat döşemelerine etkiyen kaplama yükü 2kN/m^2 , çatı katı döşemelerine etkiyen kaplama yükü $2,5\text{kN/m}^2$ ve kirişlere etkiyen duvar yükü de $4,5\text{kN/m}$ olarak dikkate alınmıştır. Tasarlanan yapıların normal kat döşemelerine etkiyen hareketli yük $3,5\text{kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen hareketli yük ise $2,7\text{kN/m}^2$ alınmıştır.

Analizi yapılacak binaların bulunduğu konumdan deprem parametreleri ve zemin parametreleri elde edilmiştir. Yapı ETABS programı ile modellenerek x ve y doğrultusunda periyotları, her bir katın ağırlığı ile toplam ağırlığı hesaplanmıştır. Yapının bulunduğu konumuna göre deprem yer hareketi düzeyi ve yerel zemin sınıfına göre S_{DS} ve S_{D1} değerleri x ve y doğrultu için elde edilmiştir (Tablo 2). DTS'nin belirlenmesine esas olmak üzere BKS, binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada tasarlanan bina konut binası olduğu için BKS=3 olarak seçilmiştir. BKS'ye bağlı olarak bina önem katsayısı $I=1$ olarak seçilmiştir.

Tasarlanan betonarme yapıların kiriş elemanlarının ve farklı geometrilere sahip kolonların farklı parametreler için moment-eğrilik ve iki boyutlu normal kuvvet-moment etkileşim diyagramları elde edilmiştir. Betonarme kiriş elemanların mesnetlerinde mesnet donatılarına göre moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında kullanılacak değerler elde edilmiştir. Yapı geometrik bilgileri, deprem parametreleri, zemin parametreleri ve malzeme bilgileri kullanılarak TBDY (2018)'e göre yapı sistemlerinin eşdeğer

deprem yükü dağılımı hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları hesaplanmıştır. ETABS programı ile gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonucunda Tip 1 ve Tip 2 yapıların tepe yatay yer değiştirme-taban kesme kuvvet eğrileri elde edilmiştir. TBDY (2018)'e göre şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ile plastik mafsal özelliklerinin hesaplanması için gerekli olan tüm doğrusal olmayan ilişkileri ve değerleri hesaplanmıştır. Böylece çalışma kapsamında TBDY (2018)'e göre betonarme kiriş ve kolonların doğrusal olmayan ilişkileri, şekil değiştirme esaslı hasarı sınırları, hasar bölgeleri ve plastik mafsal özelliklerinin hesaplanabilmesi için gereken değerler hesaplanmıştır. Bu bölümden elde edilen analiz sonuçları farklı detay ve özelliklere göre karşılaştırmalı olarak sunulularak yorumlanmıştır. Farklı tasarım parametrelerine göre kolon ve kiriş elemanlarının doğrusal olmayan davranışı nasıl ve ne oranda etkiledikleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Analizleri gerçekleştirilen yapılarda x doğrultusunda katlarda oluşan deplasman ve plastik dönme değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarından bina taşıyıcı sistem elemanlarının deprem performansını araştırmak için Tip 1 ve Tip 2 binaların zemin kat kiriş ve kolon elemanlarının hasar dağılımı ve hasar sınır limitleri elde edilerek irdelenmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan betonarme kolon ve kirişlerin kesit geometrisi ile betonarme binaların kat kalıp planı (birimler mm'dir)

Tablo 1. Betonarme kolon ve kirişlerin tipi, boyutları ve donatıları

Bina Tipi	Kolon Tipi	Kesit Boyutu	Boyuna donatı Oranı	Enine donatı Tipi	Enine donatı
1	Kare Kolon	500mm×500mm	0,01	Etriye	Φ10/50mm
2	Dairesel Kolon	565mm	0,01	Spiral	Φ10/50mm
Bina Tipi	Kiriş Tipi	Kesit Boyutu	Üst Donatı	Alt Donatı	Enine Donatı
1	Dikdörtgen	300mm×600mm	5Φ16	4Φ16	Φ10/100mm
2	Kiriş	300mm×600mm	5Φ16	4Φ16	Φ10/100mm

Tablo 2. Yapı genel bilgileri

Deprem Parametreleri	
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0,30
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6
Zemin Parametreleri	
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_a: 0,06, T_b: 0,30$
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	1,648
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,401
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SD_s)	1,9776
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (SD_1)	0,6015
En Büyük Yer İvmesi (g) (PGA)	0,674
En Büyük Yer Hızı (PGV)	43,601
Malzeme Bilgileri	
Kolonlar, Kirişler ve Döşemeler	C40, B420C

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Yapı sistemleri rijitlik ve kütle bakımından planda simetrik olmalarından dolayı x ve y yönlerindeki hâkim modların özellikleri aynıdır. Bu nedenle sadece x yönde artımsal itme analizleri yapılmıştır. ETABS programından elde edilen analiz sonuçları için TBDY (2018)'e göre yapı sistemlerinin doğrusal olmayan statik analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımları hesaplanarak farklı tip binalara göre Tablo 3 ve 4'te sunulmuştur.

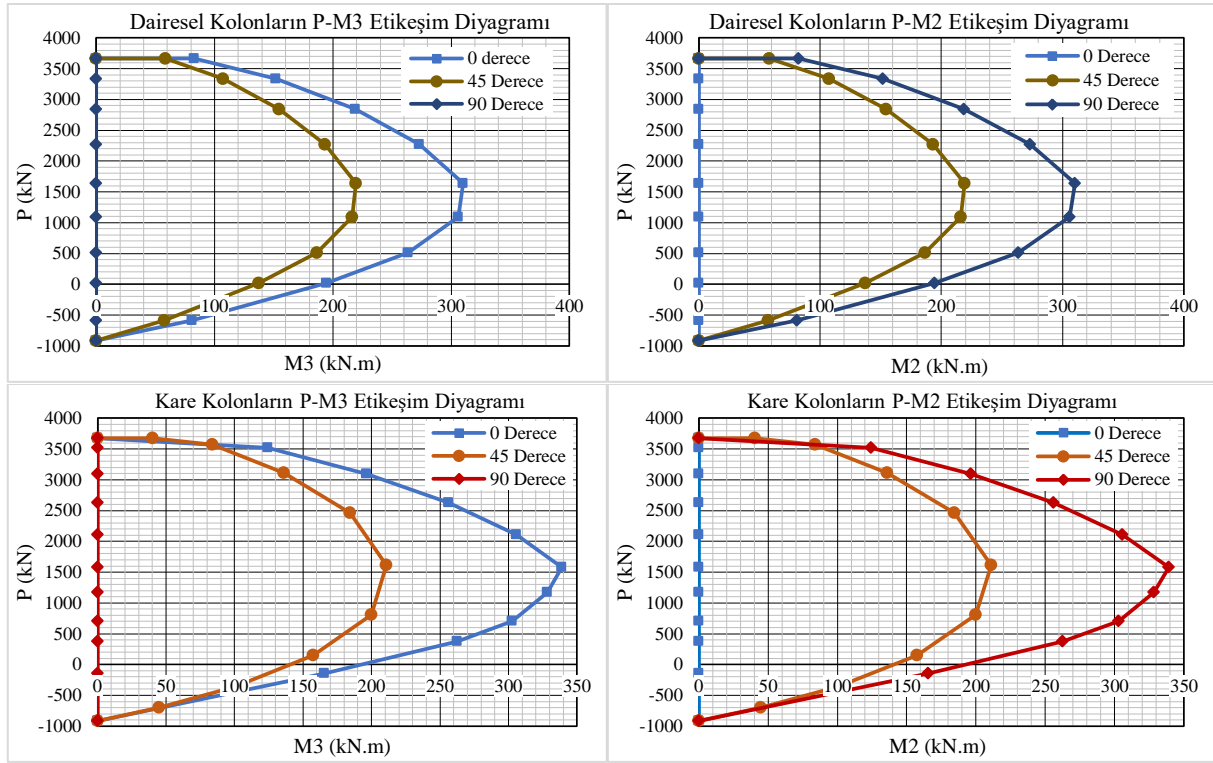
Tablo 3. Birinci titreşim modlarına ait etkin kütle oranları

Bina Tip No	Mod No	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları		
			U_x	U_y	R_z
Tip 1	1	0,680	0,801	0	0
Tip 2		0,701	0,774	0	0

Tablo 4. Tip 1 ve Tip 2 yapı sistemlerinin eşdeğer deprem yükü dağılımı

Bina Tip No	Kat	Ağırlık (kN)	x Doğrultusunda Hâkim Mod Şekli Genlikleri (m)	Ağırlık×Genlik	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı
Tip 1	Zemin	1570	0,0161	25,3	0,21
	1	1570	0,0401	63,0	0,52
	2	1570	0,0571	89,6	0,73
	3	1570	0,0815	128,0	1,05
	4	1346	0,0907	122,1	1,00
Tip 2	Zemin	1597	0,0163	26,0	0,21
	1	1597	0,0405	64,7	0,52
	2	1597	0,0573	91,5	0,73
	3	1597	0,0817	130,5	1,04
	4	1378	0,0910	125,4	1,00

Kolonların doğrusal olmayan davranışlarının modellenenilmesi için normal kuvvet ve moment bileşeninden oluşan iki boyutlu etkileşim yüzeyi (P-M) ve moment-eğrilik ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme kolonların normal kuvvet-moment etkileşim (P-M) diyagramı ve betonarme kolon ve kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında kullanılacak moment-eğrilik (M-K) ilişkileri farklı aksenal yük seviyeleri için SAP2000 programından elde edilmiştir. Tasarlanan betonarme çerçevesel binalarda eşdeğer en-kesit alanına sahip iki Tip kolon geometrisi (kare ve dairesel) dikkate alınmıştır. Betonarme kolonların normal kuvvet-moment etkileşim ve moment-eğrilik ilişkilerinde kolon kesitinde her sabit aksenal yük altında x eksenine ile saat ibresinin tersi yönde 0, 45 ve 90 derecelik eksen etrafında momentin artırılması sonucundan elde edilmiştir (Şekil 4 ve 5). Farklı tasarım parametrelere göre moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kolon ve kiriş modelleri için φ_y , M_y , φ_u , M_u ve μ değerleri hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme kolon ve kirişlerin farklı tasarım parametrelerine göre akma durumu için θ_y değerleri hesaplanmıştır. GÖ, KH ve SH için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere betonarme dairesel, kare en-kesitli kolonların ve kirişlerin TBDY (2018)'e göre plastik mafsallık dönmeleri (θ_p) hesaplanmıştır (Tablo 5 ve 6). Farklı performans düzeyi için verilen plastik dönme hasar sınırları; φ_y , φ_u , L_P , L_S ve d_b 'nin fonksiyonudur. Dolayısıyla aksenal yük seviyesi, sargı donatı oranı, boyuna donatı oranı, kesit geometrisi ve sargı donatısının konfigürasyonu gibi φ_y ve φ_u değerlerini etkileyen parametreler θ_p değerlerini de etkilemektedir. SH performans düzeyinde taşıyıcı sistemlerde plastik mafsallık oluşmasına izin verilmediği için farklı parametrelere göre betonarme kolon kesitlerinde $\theta_p^{(SH)} = 0$ elde edilmiştir. Tablolarda M_y ve M_u değerleri; (kNm), k_y ve k_u değerleri; (Rad/m), θ_y ve θ_p değerleri; (Rad) olarak verilmiştir. Taşıyıcı elemanların moment-eğrilik ilişkilerinden φ_y ve φ_u değerleri hesaplanarak θ_p değerleri hesaplanmıştır.



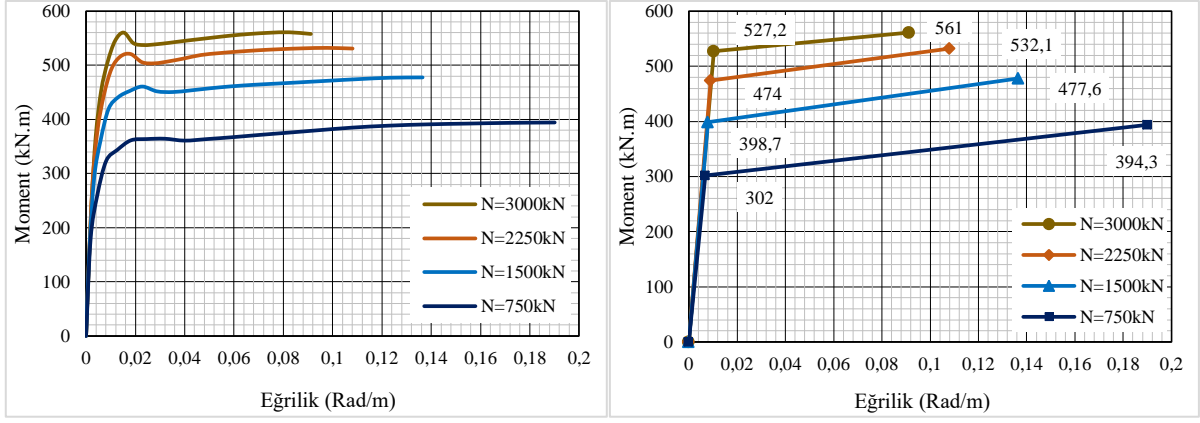
Şekil 4. Betonarme kolonların iki boyutlu P-M diyagramları

Tablo 5. Betonarme kolonların plastik mafsallıklarının tanımlanmasında kullanılacak değerler

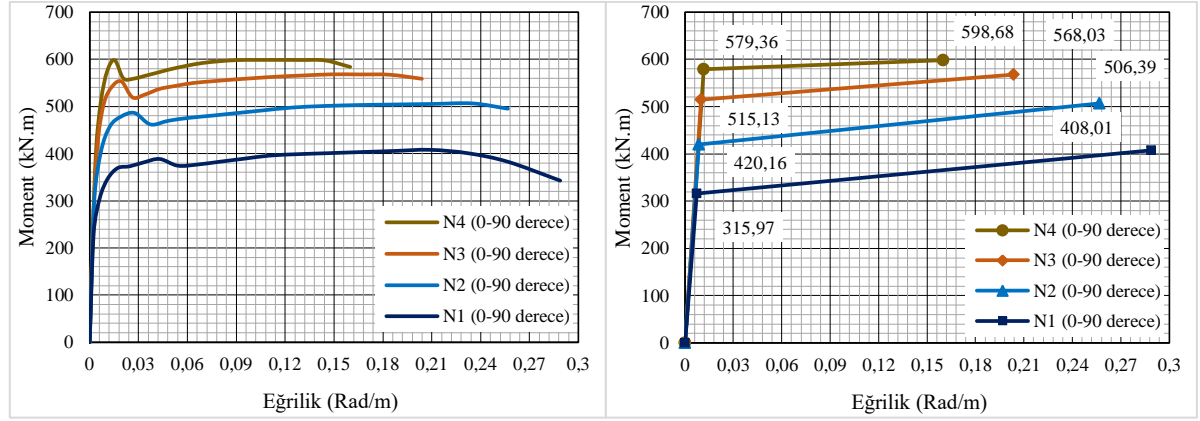
Kolon	N/N_{max}	M_y	M_u	M_u/M_y	ϕ_y	ϕ_u	μ_k	θ_y	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$	$\theta_p^{(KH)}$
Dairesel	750	302,0	394,3	1,31	0,0069	0,1901	27,6	0,0076	0,0431	0,0323
	1500	398,7	477,6	1,20	0,0079	0,1365	17,3	0,0085	0,0305	0,0228
	2250	474,0	532,1	1,12	0,009	0,1081	12,1	0,0093	0,0236	0,0177
	3000	527,2	561,0	1,06	0,0103	0,0912	8,9	0,0103	0,0195	0,0146
Kare (0-90 derece)	750	315,9	408,0	1,29	0,0074	0,2888	39,1	0,0080	0,0609	0,0457
	1500	420,2	506,4	1,21	0,0086	0,2567	29,9	0,0089	0,0538	0,0404
	2250	515,1	568,0	1,10	0,0099	0,2038	20,6	0,0099	0,0422	0,0317
	3000	579,4	598,7	1,03	0,0116	0,1599	13,8	0,0112	0,0325	0,0244
Kare (45 derece)	750	309,3	407,2	1,32	0,0061	0,1873	30,6	0,0069	0,0393	0,0295
	1500	401,9	485,3	1,21	0,0069	0,1481	21,5	0,0076	0,0307	0,0231
	2250	465,1	536,3	1,15	0,0078	0,1262	16,2	0,0083	0,0259	0,0194
	3000	500,1	561,7	1,12	0,0082	0,1121	13,7	0,0086	0,0228	0,0171

Tablo 6. Kirişlerin plastik mafsallıklarının özellikleri

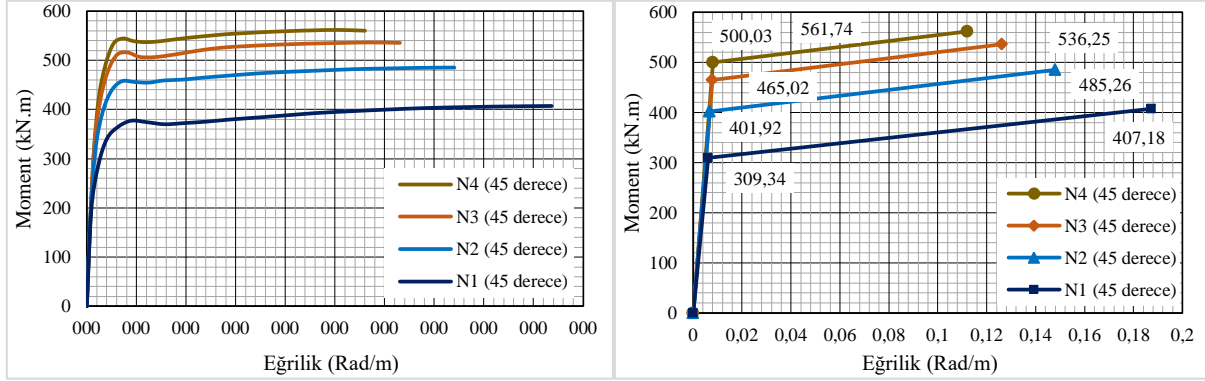
Mesnet yeri	Çekme bölgesi	M_y	M_u	M_u/M_y	ϕ_y	ϕ_u	μ_k	θ_y	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$	$\theta_p^{(KH)}$
Sol	Açıklık (+)	209,4	277,4	1,32	0,0052	0,0795	15,3	0,0072	0,0178	0,0133
	Uç (-)	235,9	318,2	1,35	0,0053	0,0632	11,9	0,0073	0,0139	0,0104
Sağ	Açıklık (+)	209,4	277,4	1,32	0,0052	0,0795	15,3	0,0072	0,0178	0,0133
	Uç (-)	235,9	318,2	1,35	0,0053	0,0632	11,9	0,0073	0,0139	0,0104



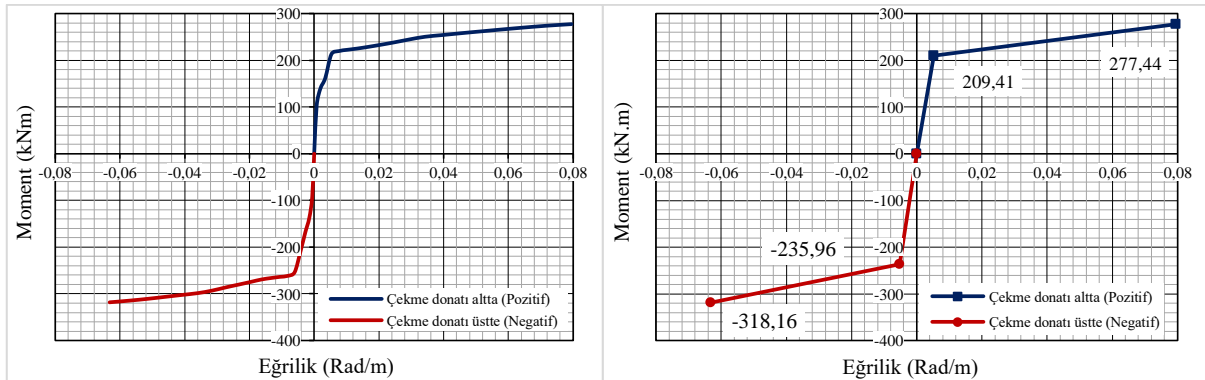
a) Dairesel en-kesitli kolonlar



b) Kare en-kesitli kolonlar (0-90 derece)



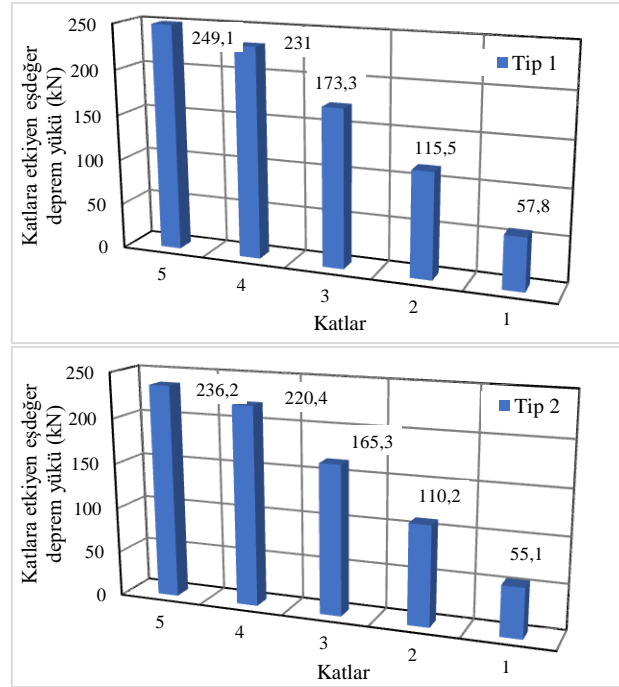
c) Kare en-kesitli kolonlar (45 derece)



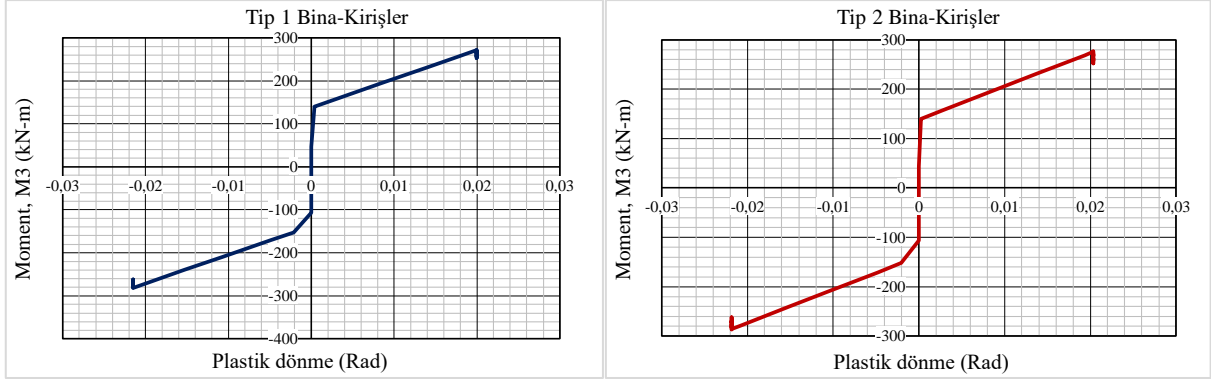
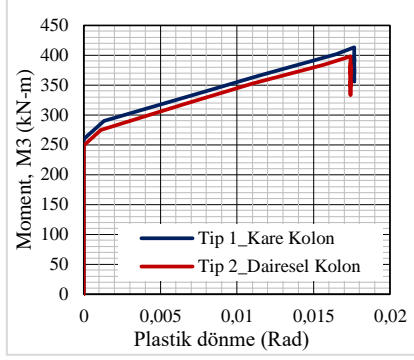
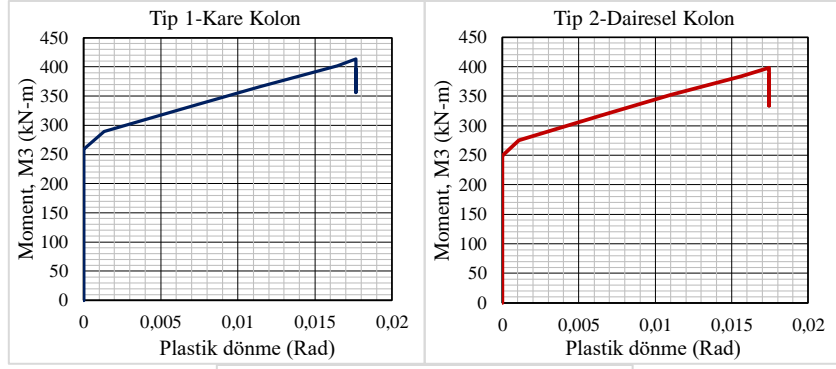
d) Betonarme kirişler

Şekil 5. Betonarme kolon ve kirişlerin moment-eğrilik grafikleri

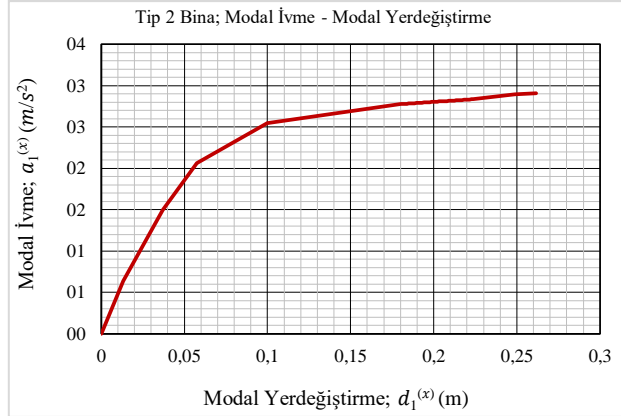
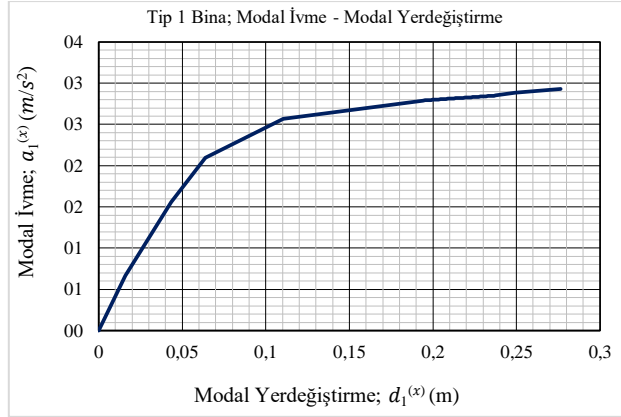
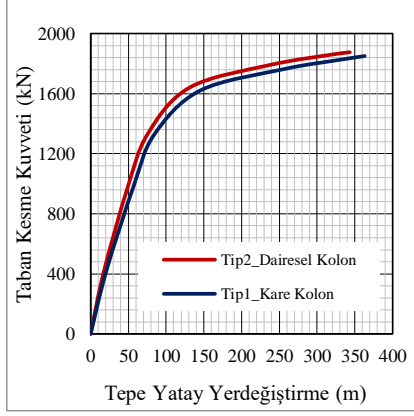
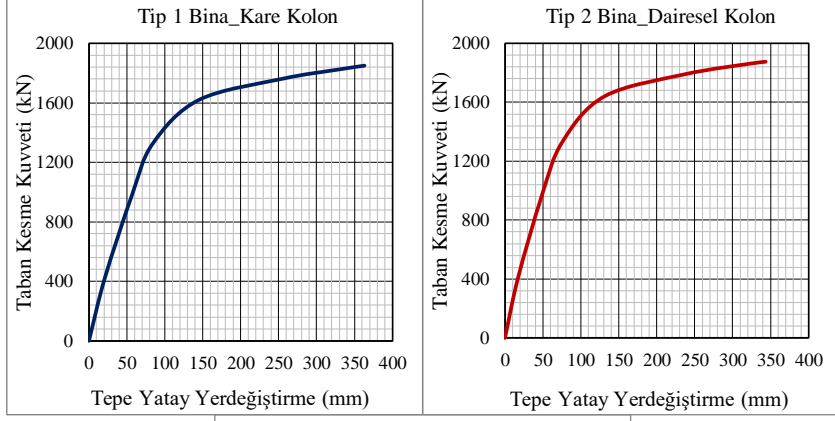
Yapılan analizler sonucunda yapı sistemlerinin tepe yatay yer değiştirme-taban kesme kuvveti ilişkileri elde edilmiştir. Tip 1 ve Tip 2 binaların eşdeğer deprem yükü dağılımı Şekil 6, kolonlarının moment-dönme kapasiteleri ve kirişlerinin moment-dönme kapasiteleri Şekil 7’de verilmiştir. Yapı sistemlerinin performans noktalarının belirlenmesi amacıyla, yapı sistemleri için elde edilen kapasite eğrilerinin, spektral ivme-spektral yer değiştirme (S_a-S_d) eksen takımına dönüştürülmüştür. Daha sonra deprem etkisini temsil eden S_d-T talep eğrisinin eksenleri S_a-S_d eksen takımına dönüştürülmüştür. Aynı eksen takımına dönüştürülen kapasite ve talep eğrileri artık birbiriyle ilişkilendirilebilir duruma gelir. Bu kapsamda birbiriyle ilişkilendirilen kapasite ve talep eğrileri aynı grafik üzerinde çizilerek yapı sistemlerinin performans noktası elde edilmiştir. Betonarme çerçeve binaların x eksenı yönünde kapasite eğrileri, modal kapasite eğrisi ve Tip 1 ve Tip 2 Binalar için x eksenı doğrultusunda kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi Şekil 8’de verilmiştir. Yapı sistemlerinin performans noktalarındaki tepe yer değiştirme istemlerinin hesaplanabilmesi için itme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme (S_{de1}) hesaplanmıştır. Şekil 8’deki grafiklerde yapı sistemleri için hesaplanan doğrusal elastik spektral yer değiştirme değerlerinden tepe yer değiştirmesi istemi $u_{XN1}^{(p)}$ hesaplanmıştır. Hesaplanan parametre değerleri Tablo 7’de farklı bina modelleri için verilmiştir. Hesaplanan $u_{XN1}^{(p)}$ tepe yer değiştirmesi istemi büyüklüklerine yapı sistemlerinin performans noktası denir. Yapı sistemleri için hesaplanan performans noktalarındaki deprem istemlerinin karşılaştırılması için taban kesme kuvvetleri, tepe yatay yer değiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve görelı kat ötelenmeleri elde edilerek karşılaştırılmıştır (Şekil 9).

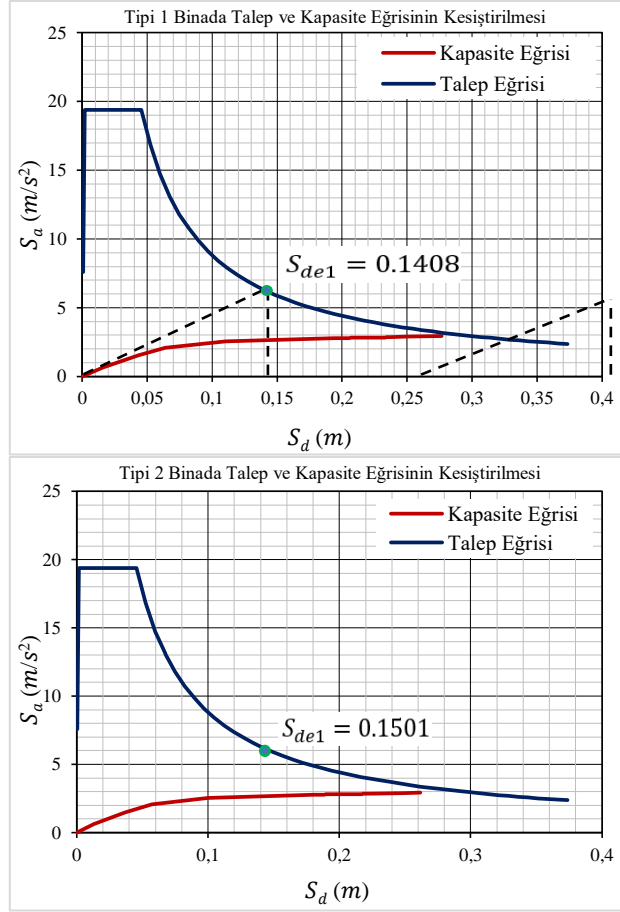


Şekil 6. Tip 1 ve Tip 2 binaların eşdeğer deprem yükü dağılımı



Şekil 7. Tip 1 ve Tip 2 binaların kolon ve kirişlerinin moment-dönme kapasiteleri

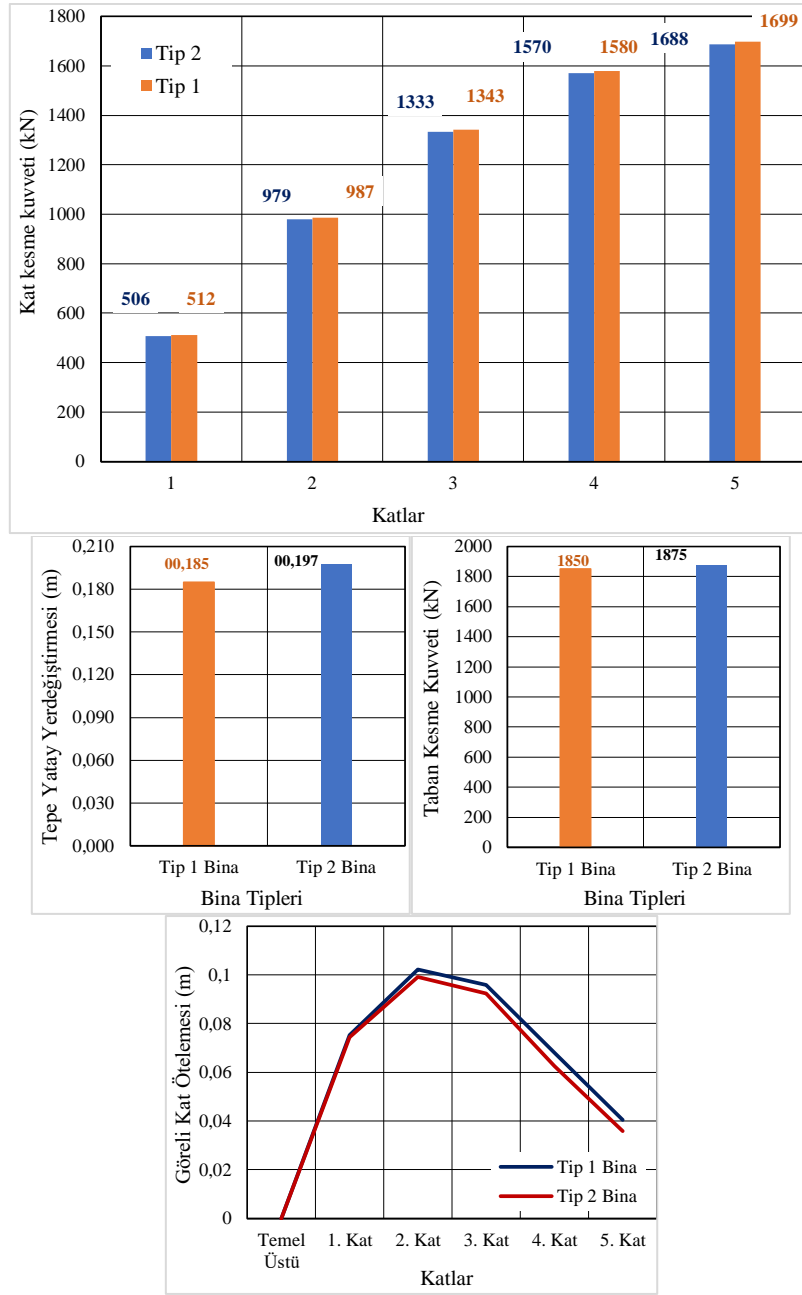




Şekil 8. Tip 1 ve Tip 2 Banalar için x eksenı doğrultusunda kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.

Tablo 7. TBDY 2018'e göre yapı sistemi için tepe yatay yer değıştirmesi istemi değeri

Parametreler	Birimler	Tip 1 Bina	Tip 2 Bina
C_{R1}	-	1,0	1,0
S_{de1}	(m)	0,1408	0,1501
$d_1^{(p)} = S_{di1}$	(m)	0,1408	0,1501
Φ_{XN1}	(m)	0,0907	0,0910
Γ_{X1}	(1/m)	14,48	14,43
$u_{XN1}^{(p)}$	(m)	0,1849	0,1971



Şekil 9. Performans noktasındaki deprem istemlerinin karşılaştırılması için elde edilen parametrelerin ilişkileri.

Kare ve dairesel en-kesitli betonarme kolonların farklı eksenel yük seviyeleri için elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinin incelenmesinden görüleceği gibi eksenel yük seviyelerinin artması ile M_y , M_u ve k_y değerleri artmakta fakat k_u ve μ_k değerleri azalmaktadır. Plastik mafsallıkların tanımlanmasında kullanılan değerlerin karşılaştırılmasından; eksenel yük seviyesinin artması ile plastik mafsallıkların dönmesi artmakta ve GÖ ve KH performans düzeyi için plastik dönme değerleri azalmaktadır (Tablo 5). Betonarme kirişlerde çekme donatısı oranının artması ile moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen M_y , M_u ve k_y değerleri artmakta fakat k_u değerleri azalmaktadır. Çekme donatı oranının artması ile betonarme kiriş kesitlerinin maksimum moment taşıma kapasitesi artmakta ve sünekliği azalmaktadır. Plastik mafsallıkların tanımlanmasında kullanılacak değerlerin

karşılaştırılmasından görüleceği gibi çekme donatı oranının artması ile plastik mafsal akma dönmesi artmakta ve GÖ ve KH performans düzeyi için plastik dönme değerleri azalmaktadır (Tablo 6).

5 katlı Tip 1 ve Tip 2 betonarme çerçeveli binaların hâkim mod şekillerine ve kat ağırlıklarına bağlı olarak elde edilen eşdeğer deprem yükü dağılımlarının karşılaştırılmasından görüleceği gibi Tip 2 binaya göre Tip 1 binaya %5,2 kat daha fazla deprem yükü etkilemektedir (Şekil 6). İki farklı Tip binanın zemin kat kirişlerinde oluşan plastik dönme değerlerinin incelenmesinden Tip 2 binanın kirişlerinde Tip 1 binasına göre ortalama %1,7 daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Zemin kat kolonlarında oluşan plastik dönme değerlerinin incelenmesinden Tip 1 binanın kolonlarında Tip 2 binasına göre ortalama %0,63 daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Zemin kat kolonlarındaki plastik mafsal bölgesinde oluşan moment değerlerinin incelenmesinden Tip 1 binada Tip 2 binasına göre ortalama %7,4 daha fazla moment oluşmaktadır. Zemin kat kirişlerindeki plastik mafsal bölgesinde oluşan moment değerlerinin incelenmesinden Tip 2 binanın Tip 1 binasına göre ortalama %1,7 daha fazla moment oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Tip 1 ve Tip 2 yapılarının tüm zemin kat kolon ve kiriş elemanları belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. (Şekil 7). Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme değerleri Tip 1 binaya göre Tip 2 binada %6,2 daha fazla olarak elde edilmiştir (Şekil 8). Tip1 ve Tip2 binaların 5'inci kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılmasından görüleceği gibi Tip 2 binaya göre Tip 1 binaya %0,65 kat daha fazla kesme kuvveti etkilemektedir. Çerçeveli binaların maksimum taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılmasından Tip 1 binaya göre Tip 2 binaya %1,33 kat daha fazla taban kesme kuvveti etkilemektedir. Binalar için elde edilen maksimum tepe yatay yer değiştirmelerinin incelenmesinden Tip 1 binaya göre Tip 2 bina %6,2 kat daha fazla yatay yer değiştirmeye maruz kalmıştır (Şekil 9).

Sonuç

Eksenel yük seviyesindeki artış hem eleman sünekliğini hem de kesit hasar sınırlarını önemli derecede azaltmaktadır. Eksenel yük seviyesinin artmasıyla kesitin hasar sınırına karşı gelen eğrilik değeri azalmaktadır. Dolayısı ile eksenel yük seviyesinin artması ile kolon kesitlerinin hasar sınırlarının düşük şekil değiştirme değerinde oluşacağı söylenebilir.

Dairesel en-kesitli kolona sahip binaya göre kare en-kesitli binaya daha fazla deprem yükü ile kesme kuvveti etkilemektedir. Kare en-kesitli kolona sahip binaya göre dairesele kolona sahip binada daha fazla taban kesme kuvveti ile yatay yer değiştirme değeri elde edilmiştir. Dairesel kolona sahip binanın kare kolona sahip binaya göre kiriş ve kolonlarında daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Kare kolona sahip binada dairesele kolona sahip binaya göre zemin kat kolon ve kirişlerinde daha fazla moment oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her iki tip binanın tüm zemin kat kolon ve kiriş elemanlarının belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir.

Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme değerleri kare kolona sahip binaya göre dairesele kolona sahip binada daha fazla elde edilmiştir. Dairesel kolon kare kolona göre daha performanslıdır (%6,2). Analiz ve değerlendirmeler sonucunda her iki yönde kritik kattaki kolon ve

kirişlerin tamamının belirgin hasar bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara ve TBDY (2018)'de belirtilen performans kriterlerine göre her iki binanın da kontrollü hasar performans seviyesinde olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmayı 211104011 numaralı proje kapsamında destekleyen Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

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

- Balıkçı İ. Mevcut binaların deprem performanslarının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019; sayfa no:120s, Denizli, Türkiye.
- Dalyan I., Sahin B. Mevcut betonarme bir binanın 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performansının değerlendirilmesi. Türk Deprem Araştırma Dergisi 2019; 1(2): 134-147.
- Elci H., Goker KA. Deprem yönetmeliklerinin (DBYBHY 2007 ve TBDY 2018) betonarme kolonların deprem performansı açısından karşılaştırılması. International Journal of Scientific and Technological Research 2018; 4(6): 9-21.
- ETABS. Structural software for analysis and design. Computers and Structures, Inc. Version 18.1.1., Build 1727, USA, 2018.
- Foroughi S., Yüksel S. Betonarme kolonların şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması. International Journal of Engineering Research and Development 2019; 11(2): 584-601.
- Foroughi S., Jamal R., Yüksel SB. Şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının belirlenmesinde sargı donatısının ve eksenel yükün etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2020; 8(4): 1042-1052.
- Meral E. Yapısal parametrelerin betonarme kolonların eğrilik sünekliğine etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018; 1(1): 28-43.
- Özer Ö., Yüksel SB. Farklı betonarme bağ kirişi modellerinin TBDY (2018)'e göre yapı performansına etkisi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering 2020; 25(3): 1169-1188.

- Sönmez M. DBYBHY-07 ve ASCE 41-06'da tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi 2012; 454s.
- SAP2000.Structural Software for Analysis and Design, Computers and Structures, Inc, USA., (2000).
- Şahin B. Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi ve yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2010; Sayfa No: 138 s, İstanbul, Türkiye.
- TBDY. Türkiye bina deprem yönetmeliği. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2018; Ankara.
- Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. Kesit hasar sınırlarının belirlenmesinde sargılama durumunun etkisi. International Burdur Earthquake and Environment Symposium 2015; 252-259, Burdur Türkiye.
- Ulutas H. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinin kesit hasar sınırları açısından kıyaslanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019; 17: 351-359.
- Yüksel SB., Yağlıkcı S. Betonarme binaların doğrusal olmayan hesap yöntemler ile analizi üzerine bir çalışma. 2nd International Congress on Engineering and Architecture, (ENAR) 2019; 495-512, Marmaris, Turkey.

Relatif İki-Ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Lineer Kodlar

Basri ÇALIŞKAN^{1*}, Veysel ÇELİK²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 80000, Osmaniye

²MEB Kahta Bist Anadolu Lisesi, 02400, Adıyaman

¹<https://orcid.org/0000-0003-0512-4208>

²<https://orcid.org/0000-0001-7062-6402>

*Sorumlu yazar: bcaliskan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.07.2021

Kabul tarihi: 20.09.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Bir-ağırlıklı kod

Gray dönüşümü

$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod

ÖZ

α ve β sıfırdan farklı pozitif tamsayılar olmak üzere, $\mathbb{Z}_2^\alpha \times \mathbb{Z}_4^\beta$ nin alt grupları olarak tanımlanan $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlar araştırmacılar tarafından son yıllarda oldukça ilgi görmüştür. Bu kod ailesine benzer bir kod sınıfı $\mathbb{Z}_2^r \times (\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2)^s$ üzerindeki kodlardır. Bu kodlar $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlara göre bazı avantajlara sahiptir. Bir kodun sıfırdan farklı tüm kodsözleri aynı ağırlığa sahipse bu kod bir-(sabit) ağırlıklı kod olarak tanımlanır. Bu çalışmada, $\mathbb{Z}_2^r \times (\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2)^s$ üzerindeki relatif iki-ağırlıklı kodlar çalışılmıştır. İlk olarak, iki-mesafeli bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodun Gray görüntüsünün ikili iki-mesafeli bir kod olduğu gösterilmiştir. Daha sonra relatif iki-ağırlıklı bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodun Gray görüntüsünün ikili relatif iki-ağırlıklı bir kod olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca, bu kodların duallerinin genellikle relatif iki-ağırlıklı kod olmadıkları örneklerle gösterilmiştir. Son olarak, relatif iki-ağırlıklı bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodun yapısı belirlenmiştir.

Relative Two-Weight $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Linear Codes

Research Article

Article History:

Received: 13.07.2021

Accepted: 20.09.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

One-weight code

Gray map

$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear code

ABSTRACT

$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -additive codes, defined as subgroups of $\mathbb{Z}_2^\alpha \times \mathbb{Z}_4^\beta$ where α and β are positive integers, have been considered by researchers in the last decades. The family of these codes are similar to the class of codes over $\mathbb{Z}_2^r \times (\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2)^s$. These codes have some advantages compared to $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -additive codes. A code is called constant weight (one-weight) if all the nonzero codewords have the same weight. In this study, relative two-weight codes over $\mathbb{Z}_2^r \times (\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2)^s$ are considered. Firstly, it is shown that the Gray image of a two-distance $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear code is a binary two-distance code. Then, it is proved that the Gray image of a relative two-weight $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear code, with nontrivial binary part, is a binary relative two-weight code. Also, it is shown that the duals of these codes are not relative two-weight codes generally by using examples. Finally, the structure of relative two-weight $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear codes are determined.

To Cite: Çalışkan B., Çelik V. Relatif İki-Ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Lineer Kodlar. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):56-65.

1. Giriş

\mathbb{Z}_m , modülo m kalan sınıflar halkası olmak üzere \mathbb{Z}_m^n nin boş kümeden farklı herhangi bir alt kümesi C ye bir kod ve alt modülüne ise \mathbb{Z}_m üzerinde n uzunluklu bir lineer kod denir. Özel olarak $m = 2$ ise ikili (binary) kod ve $m = 4$ ise dördü (quaternary) kod denir.

Eğer bir koddaki sıfırdan farklı her kodsöz aynı Hamming (Lee) ağırlığa sahip ise bu koda bir-ağırlıklı kod, herhangi iki kodsöz arasındaki mesafe sabit ise bu koda eş-mesafeli kod denir. Lineer eş-mesafeli bir kod bir-ağırlıklı bir koddur (Dougherty ve ark., 2016).

Cisimler üzerindeki bir-ağırlıklı lineer kodların yapısı Bonisoli tarafından belirlenmiştir (Bonisoli, 1984). Bu çalışmada, her eş-mesafeli kodun Hamming kodların dualleri olan simpleks kodların bir dizisi olduğu ispatlanmıştır. Halkalar üzerindeki bir-ağırlıklı lineer kodlar ile ilgili bazı çalışmalara örnek verilecek olursa, \mathbb{Z}_4 üzerindeki bir-ağırlıklı lineer kodlar (Carlet, 2000) de ve \mathbb{Z}_m üzerindeki bir-ağırlıklı lineer kodların çeşitli ağırlıkları (Wood, 2002) de araştırılmıştır.

α ve β birer pozitif tamsayı olmak üzere $\mathbb{Z}_2^\alpha \times \mathbb{Z}_4^\beta$ nın bir C alt grubuna $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kod denir. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodların cebirsel yapısı (Borges ve ark., 2010) da incelenmiş ve bu makalede $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodların standart haldeki üreteç ve kontrol matrisleri belirlenmiştir. Bu çalışmayla beraber $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlar birçok matematikçinin ilgisini çekmiş ve bugüne kadar bu konuyla ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Borges ve ark., 2010; Bilal ve ark., 2011).

Bir-ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlar (Dougherty ve ark., 2016) da sınıflandırılmıştır. Yine bir-ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodların yapısı (Aydogdu, 2018) de belirlenmiştir. Bir-ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4\mathbb{Z}_8$ -toplamsal kodlarla ilgili bazı sonuçlar (Çalışkan, 2021) de elde edilmiştir. Cisimler üzerindeki relatif bir-ağırlıklı lineer kodlar ilk kez (Liu ve Chen, 2010) ve (Liu ve ark., 2011) de tanıtılmıştır. Relatif iki-ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodların yapısı (Annamalai ve Durairajan, 2016) da çalışılmıştır.

Yukarıda bahsedilen araştırmalardan yola çıkılarak, bu çalışmada, r ve s birer pozitif tamsayı olmak üzere $\mathbb{Z}_2^r \times (\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2)^s$ üzerindeki relatif iki-ağırlıklı kodların cebirsel yapısı araştırılmış ve relatif iki-ağırlıklı bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodun yapısı belirlenerek bazı örnekler verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Lineer Kodlar

\mathbb{Z}_4 gibi dört elemanlı önemli halkalardan biri olan $\mathbb{Z}_2[u]$ halkası (Aydogdu ve ark., 2015) de verilmiştir. Bu halka $u^2 = 0$ olmak üzere $R = \mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2 = \{0, 1, u, 1 + u\}$ elemanlarına sahiptir ve kısaca $R = \mathbb{Z}_2[u]$ ile gösterilir. \mathbb{Z}_2 nin R halkasının bir alt halkası olduğu açıktır. Dolayısıyla \mathbb{Z}_2 deki çarpanlara ayırma R de geçerlidir.

$$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u] = \{(a|b) | a \in \mathbb{Z}_2, b \in R\}$$

şeklinde tanımlanan küme bilinen çarpma işlemi altında R halkasındaki u elemanına göre kapalı değildir. Dolayısıyla standart çarpma işlemine göre bir modül değildir.

$$\eta: R \rightarrow \mathbb{Z}_2$$

$$\eta(e + uq) = e$$

dönüşümü $\eta(0) = 0$, $\eta(1) = 1$, $\eta(u) = 0$ ve $\eta(1 + u) = 1$ olarak tanımlansın. η dönüşümü yardımıyla skaler çarpma işlemi aşağıdaki gibi tanımlanır. Herhangi bir $d \in R$ ve $v = (a_0, a_1, \dots, a_{r-1} | b_0, b_1, \dots, b_{s-1}) \in \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ için

$$d \cdot v = (\eta(d)a_0, \eta(d)a_1, \dots, \eta(d)a_{r-1} | db_0, db_1, \dots, db_{s-1})$$

işlemi altında $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ halkası bir R modülüdür (Aydoğdu, 2014).

Tanım 2.1.1. C , $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ nin boş kümeden farklı bir alt kümesi olsun. Eğer C yukarıda tanımlanan skaler çarpma işlemine göre $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ nin bir R -alt modülü ise, C ye bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod denir. $n = r + 2s$ olmak üzere her $a = (a_0, a_1, \dots, a_{r-1}) \in \mathbb{Z}_2^r$ ve $b = (b_0, b_1, \dots, b_{s-1}) \in R^s$ için Gray dönüşümü

$$\Phi: \mathbb{Z}_2^r \times R^s \rightarrow \mathbb{Z}_2^n$$

$$\Phi(a|b) = (a_0, a_1, \dots, a_{r-1} | \phi(b_0), \phi(b_1), \dots, \phi(b_{s-1}))$$

$$\phi: R \rightarrow \mathbb{Z}_2^2$$

$$\phi(0) = (0,0), \phi(1) = (0,1), \phi(u) = (1,1), \phi(1 + u) = (1,0)$$

şeklinde tanımlanır (Aydoğdu ve ark., 2015).

Bir x kodsözündeki sıfırdan farklı koordinatların sayısına ise (Hamming) ağırlık denir ve $wt_H(x)$ ile gösterilir. $(x|y)$ nin Lee ağırlığı $wt_L(x|y)$ ile gösterilir ve $wt_L(x|y) = wt_H(x) + wt_H(\phi(y))$ olarak tanımlanır. $(x|y), (x'|y') \in \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ olsun. $(x|y)$ ile $(x'|y')$ arasındaki Hamming mesafesi

$$d_H((x|y), (x'|y')) = wt_H(x - x' | y - y')$$

şeklinde tanımlanır. Ayrıca, $(x|y)$ ile $(x'|y')$ arasındaki Lee mesafesi

$$d_L((x|y), (x'|y')) = wt_H(x - x') + wt_H(\phi(y - y'))$$

şeklinde tanımlanır.

Teorem 2.1.2. C , $(r, s; k_0, k_1, k_2)$ tipinde bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olsun. C kodunun üreteç matrisinin standart hali, aşağıdaki gibi verilen $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer koda permütasyon denktir

$$G = \left(\begin{array}{cc|cc} I_{k_0} & A_1 & 0 & 0 \\ 0 & S & I_{k_1} & A \\ 0 & 0 & 0 & uI_{k_2} \end{array} \begin{array}{c} uT \\ B_1 + uB_2 \\ uD \end{array} \right).$$

Burada A, A_1, B_1, B_2, S ve D matrisleri \mathbb{Z}_2 üzerindeki matrislerdir (Aydoğdu, 2014).

Tanım 2.1.3. $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ üzerindeki herhangi iki v, w elemanın iç çarpımı

$$\langle v, w \rangle = u \left(\sum_{i=1}^r v_i w_i \right) + \sum_{j=r+1}^{r+s} v_j w_j \in (\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2)$$

biçiminde tanımlanır (Aydoğdu, 2014).

Tanım 2.1.4. $C, \mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodunun duali C^\perp sembolüyle gösterilir ve

$$C^\perp = \{w \in \mathbb{Z}_2^r \times R^s \mid \text{her } v \in C \text{ için } \langle v, w \rangle = 0\}$$

biçiminde tanımlanır (Aydoğdu, 2014).

Teorem 2.1.5. $(r, s; k_0, k_1, k_2)$ tipindeki $C \mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodunun duali C^\perp nin standart formdaki üreteç matrisi (C kodunun kontrol matrisi)

$$H = \left(\begin{array}{cc|cc} -A_1^t & I_{r-k_0} & -uS^t & 0 \\ -T^t & 0 & -(B_1 + uB_2)^t + D^t A^t & -D^t \\ 0 & 0 & -uA^t & uI_{k_2} \end{array} \begin{array}{c} 0 \\ I_{s-k_1-k_2} \\ 0 \end{array} \right)$$

şeklindedir (Aydoğdu, 2014).

Örnek 2.1.6. $C, G = \left(\begin{array}{cccc|cccc} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \begin{array}{c} 1 \\ 1+u \\ 1 \\ u \end{array} \begin{array}{c} 1+u \\ u \end{array} \right)$ üreteç matrisi ile üretilen $\mathbb{Z}_2^7 \times R^4$ üzerinde $(7,4; 1,1,0)$ tipinde bir kod olsun. C kodunun üreteç matrisinin standart hali

$$G_S = \left(\begin{array}{cccc|cccc} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{array} \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ u \\ 1+u \end{array} \begin{array}{c} 0 \\ 1+u \end{array} \right)$$

olup, C^\perp nin standart formdaki üreteç matrisi

$$H = \left(\begin{array}{cccccccc|cccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & u & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & u & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & u & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1+u & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1+u & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right)$$

şeklindedir. Açıkça görülmektedir ki, $|C||C^\perp| = 2^7 4^4$ dir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ Üzerinde Relatif İki-Ağırlıklı Kodlar

Bu bölümde, $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ deki relatif iki-ağırlıklı kodların yapısı çalışılmıştır.

$C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de bir kod olsun. Eğer C nin sıfırdan farklı tüm kodsözleri aynı Lee ağırlığına sahip ise C ye bir-ağırlıklı bir kod denir.

Tanım 3.1.1. $C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de sıfırdan farklı bir kod olsun. $c, c' \in C$ herhangi iki kodsöz için $d_L(c, c') \in \{m, m_1\}$ olacak şekilde farklı m, m_1 pozitif tamsayıları varsa C ye iki-mesafeli kod denir. Eğer C nin sıfırdan farklı tüm kodsözleri iki farklı Lee ağırlığına sahip ise C ye iki-ağırlıklı bir kod denir.

$C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de bir kod ise, C nin relatif iki-ağırlıklı bir kod olabilmesi için gerek yeter koşulun C nin iki-mesafeli bir kod olması gerektiği açıktır.

Tanım 3.1.2. $C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de bir kod ve C_1, C nin bir alt kodu olsun. Eğer C_1 ve $C \setminus C_1$ bir-ağırlıklı kod iseler, C ye C_1 alt koduna göre relatif iki-ağırlıklı bir kod denir. Her $c_1 \in C_1$ için $wt_L(c_1) = m_1$ olacak şekilde bir $m_1 > 0$ tamsayısı ve her $c \in C \setminus C_1$ için $wt_L(c) = m$ olacak şekilde bir $m > 0$ tamsayısı ile birlikte C_1 alt koduna göre relatif iki-ağırlıklı bir C kodu, $C(m_1, m)$ olarak gösterilir.

Örnek 3.1.3.. $\mathbb{Z}_2^7 \times R^4$ üzerinde verilen C kodu, $C_1 = \langle (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 | 1 \ 1+u \ 1+u \ 1) \rangle$ alt koduna göre (8,7) relatif iki-ağırlıklı bir koddur.

Teorem 3.1.4. $C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de mesafeleri m ve m_1 olan iki-mesafeli bir kod olsun. Bu durumda C nin Gray görüntüsü $\Phi(C)$ de aynı m ve m_1 mesafelerine sahip ikili iki-mesafeli bir koddur.

İspat: $c, c' \in C$ için $\Phi(c) \neq \Phi(c')$ olmak üzere $\Phi(c), \Phi(c') \in \Phi(C)$ olsun. $C, C(m_1, m)$ kod olduğundan $d_L(c, c') \in \{m, m_1\}$ dir. [5] den Gray dönüşümü Φ nin bir izometri olmasından dolayı

$$d_H(\Phi(c), \Phi(c')) = d_L(c, c') \in \{m, m_1\}$$

dir. Dolayısıyla, $\Phi(C)$ aynı m ve m_1 mesafelerine sahip ikili iki-mesafeli bir koddur.

Teorem 3.1.5. $C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de bir kod olsun. Eğer $C(m_1, m), C_1$ alt koduna göre relatif iki-ağırlıklı bir kod ise m_1 çift olmak zorundadır.

İspat: $C(m_1, m), C_1$ alt koduna göre relatif iki-ağırlıklı bir kod ve $c_1 = (x_1|y_1) \in C_1$ olsun. C_1 bir-ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olduğundan

$$u \cdot c_1 = (\eta(u)x_1|uy_1) = (0|uy_1) \in C_1$$

dir. $uy_1 \in R^s$ deki her koordinat ya 0 ya da u olduğundan dolayı, bu $wt_L(uy_1)$ nin çift olmasını gerektirir ve $wt_L(0|uy_1)$ nin çift olduğu elde edilir. C_1 , ağırlığı m_1 olan bir-ağırlıklı bir kod olduğundan C_1 deki sıfırdan farklı her kodsöz için $wt_L(c_1) = wt_L(uc_1)$ dir. Dolayısıyla m_1 çifttir.

Teorem 3.1.6. $C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de bir $C(m_1, m)$ kod olsun. Bu durumda C nin Gray görüntüsü $\Phi(C)$ de \mathbb{Z}_2 üzerinde relatif iki-ağırlıklı bir $\Phi(C)(m_1, m)$ koddur.

İspat: $w \in \Phi(C) \setminus \Phi(C_1)$ olsun. O zaman $w = \Phi(c)$ olacak şekilde en az bir $c \in C \setminus C_1$ vardır. Her $v \in C$ için

$$wt_H(\Phi(v)) = wt_L(v)$$

oldüğundan,

$$wt_H(w) = wt_H(\Phi(c)) = wt_L(c) = m$$

dir. $w \neq 0$ için $w \in \Phi(C_1)$ olsun. Bu durumda

$$w = \Phi(c_1),$$

$$wt_H(w) = wt_H(\Phi(c_1)) = wt_L(c_1) = m_1$$

olacak şekilde en az bir $c_1 \neq 0 \in C_1$ vardır. Dolayısıyla $\Phi(C)(m_1, m), \mathbb{Z}_2$ üzerinde relatif iki-ağırlıklı bir koddur.

Teorem 3.1.7. $C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de relatif iki-ağırlıklı bir $C(m_1, m)$ kod olsun. Bu durumda herhangi bir t pozitif tamsayısı için $\mathbb{Z}_2^{tr} \times R^{ts}$ de en az bir $D(tm_1, tm)$ relatif iki-ağırlıklı kodu vardır.

İspat: $C, \mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de C_1 alt koduna göre bir relatif iki-ağırlıklı kod olsun.

$$D = \left\{ \left(\overline{\overbrace{x \cdots x}^{t-tane}} \mid \overline{\overbrace{y \cdots y}^{t-tane}} \right) \mid (x|y) \in C \right\} \subseteq \mathbb{Z}_2^{tr} \times R^{ts}$$

$$D_1 = \{(x \cdots x|y \cdots y) \in D \mid (x|y) \in C_1\}$$

D_1 in $\mathbb{Z}_2^{tr} \times R^{ts}$ de bir kod olduğu ve $D_1 \subseteq D$ olduğu açıktır. $\left(\overline{\overbrace{x \cdots x}^{t-tane}} \mid \overline{\overbrace{y \cdots y}^{t-tane}} \right) \in D \setminus D_1$ olsun. Bu durumda $(x|y) \in C \setminus C_1$ ve $wt_L(x|y) = m$ dir ve dolayısıyla

$$wt_L \left(\overline{\overbrace{x \cdots x}^{t-tane}} \mid \overline{\overbrace{y \cdots y}^{t-tane}} \right) = tm$$

dir. $(x \cdots x|y \cdots y) \in D_1$ olsun. Bu durumda $(x|y) \in C_1$ dir. C_1 bir-ağırlıklı bir kod olduğundan $wt_L(x|y) = m_1$ ve dolayısıyla

$$wt_L(x \cdots x|y \cdots y) = tm_1$$

elde edilir. Bu yüzden $D(tm_1, tm)$, D_1 alt koduna göre bir relatif iki-ağırlıklı koddur.

Eğer C relatif iki-ağırlıklı bir kod ise, C nin duali C^\perp relatif iki-ağırlıklı bir kod olmak zorunda değildir.

Örnek 3.1.8. $C = \langle (1|1+u \ u) \rangle$, $C_1 = \langle (0|u \ 0) \rangle$ alt koduna göre relatif iki-ağırlıklı bir koddur. Fakat C nin duali $C^\perp = \langle (1|u \ 0), (0|u \ 1) \rangle$ relatif iki-ağırlıklı bir kod değildir.

Örnek 3.1.9. $C, G = \begin{pmatrix} 1 & 0|u & 0 \\ 0 & 1|1 & 1 \end{pmatrix}$ üreteç matrisi ile üretilen $\mathbb{Z}_2^2 \times R^2$ de $C_1 = \langle (1 \ 1|1+u \ 1) \rangle$ alt koduna göre (4,3) relatif iki-ağırlıklı bir koddur. C nin duali $C^\perp = \langle (0 \ 1|0 \ u), (1 \ 0|1 \ 1+u) \rangle$, $E_1 = \langle (1 \ 1|1 \ 1) \rangle$ alt koduna göre (4,3) relatif iki-ağırlıklı bir koddur.

3.2. Relatif İki-Ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Lineer Kodların Yapısı

Bir halkada $xy = 1$ olacak şekilde en az bir y elemanı bulunuyorsa, x elemanına birimsel eleman denir. Ayrıca, sıfırdan farklı bir a elemanı için $ab = 0$ olacak şekilde sıfırdan farklı en az bir b elemanı bulunuyorsa, a elemanına sıfır bölen denir.

Teorem 3.2.1. C , $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de C_1 alt koduna göre relatif iki-ağırlıklı bir $C(m_1, m)$ kod, G_1 , C_1 alt kodunun üreteç matrisi ve $G = \begin{pmatrix} G' \\ G_1 \end{pmatrix}$ de $C(m_1, m)$ nin üreteç matrisi olsun. Eğer $(v|w)$, G_1 in bir satırı ise w daki birimsellerin sayısı ya 0 ya da $\frac{m_1}{2}$ dir.

İspat: $c = (v|w)$, G_1 in bir satırı olsun. Bu durumda $u \cdot c = (0|uw)$ dir. Eğer $u \cdot c = 0$ ise w da birimsel yoktur. Eğer $u \cdot c \neq 0$ ise,

$$wt_L(u \cdot c) = wt_L(0|uw) = wt_H(0) + wt_L(uw)$$

dir. Her $c \in C_1$ için $wt_L(c) = m_1$ olduğundan $wt_L(uw) = m_1$ olmalıdır. w da birimsellerin bulunduğu koordinatların yerlerinin sayısı ile uw da sıfırdan farklı koordinatların yerlerinin sayısı aynı olduğundan ve uw da sıfırdan farklı koordinatlarda u bulunacağından

$$wt_L(u \cdot c) = 2 \times (w \text{ daki birimsellerin sayısı})$$

elde edilir. Dolayısıyla

$$2 \times (w \text{ daki birimsellerin sayısı}) = m_1$$

elde edilir. Buradan w daki birimsellerin sayısı $\frac{m_1}{2}$ olarak bulunur.

Örnek 3.2.2. $C = \langle (1 \ 0 \ 1|1+u \ u) \rangle \in \mathbb{Z}_2^3 \times R^2$, $C_1 = \langle (0 \ 0 \ 0|u \ 0) \rangle$ alt koduna göre $C(2,5)$ relatif iki-ağırlıklı bir koddur. C nin elemanları

$$C = \{(1 \ 0 \ 1|1+u \ u), (0 \ 0 \ 0|u \ 0), (1 \ 0 \ 1|1 \ u), (0 \ 0 \ 0|0 \ 0)\}$$

olup, görüldüğü gibi R li kısımda 1 tane birimsel bulunmaktadır.

Teorem 3.2.3. C , $\mathbb{Z}_2^r \times R^s$ de C_1 alt koduna göre relatif iki-ağırlıklı bir $C(m_1, m) = \langle (v|w) \rangle$ kod olsun. Eğer v nin k tane birimsel pozisyonu, w nun l tane birimsel pozisyonu ve t tane de sıfır bölen pozisyonu bulunuyorsa, $m_1 = 2l$, $m = k + 2t + l$ dir.

İspat: $0 \neq c \in C_1$ olsun. $C = \langle (v|w) \rangle$ ve $C_1 \subseteq C$ olduğundan, $c = u \cdot (v|w)$ olmak zorundadır, aksi halde $C = C_1$ olurdu. Bu yüzden

$$wt_L(c) = wt_L(u \cdot (v|w)) = wt_L(0|uw) = m_1$$

elde edilir. w nun l tane birimsel pozisyonu bulunduğundan uw nun l tane sıfır bölen pozisyonu vardır. Bu yüzden $wt_L(0|uw) = 2l$ dir. Dolayısıyla $m_1 = 2l$ dir. $(v|w) \in C \setminus C_1$ olsun. Bu durumda

$$\begin{aligned} wt_L((v|w)) &= wt_H(v) + wt_H(\phi(w)) \\ &= r + wt(\phi(w)) \end{aligned}$$

dir. w nun l tane birimsel pozisyonu ve t tane de sıfır bölen pozisyonu bulunduğundan $\phi(w)$, $l + 2t$ tane birimsel pozisyonuna sahiptir. Dolayısıyla, $wt_H(\phi(w)) = 2t + l$ ve $wt_L((v|w)) = k + 2t + l$ elde edilir. Bu yüzden $m = k + 2t + l$ bulunur.

4. Sonuçlar

Bilindiği üzere kodlama teorisinde bir (sabit)-ağırlıklı kodlar birçok önemli uygulamalara sahiptir. Örneğin, veri depolama, hataya dayanıklı devre tasarımı ve hesaplama, devre testi için desen üretimi, kimlik kodlaması ve optik kaplama ağlar gibi çok çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır. Bu çalışmada, dört elemanlı \mathbb{Z}_4 halkasına göre bazı avantajlara sahip olan önemli diğer bir halka $\mathbb{Z}_2[u]$ halkası ile belirlenen relatif iki-ağırlıklı $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodların bazı özellikleri araştırılmıştır. Bu kodların Gray görüntülerinin de relatif iki-ağırlıklı kod olduğu gösterilmiş ve cebirsel yapısı ile ilgili teorem ispatlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalenin yazarları herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makalenin yazarları olarak bu çalışmaya eşit oranda katkı sağladığımızı beyan ederiz.

Kaynakça

- Annamalai N., Durairajan C. Relative two-weight $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ - additive codes. International Journal of Computer & Mathematical Sciences 2016; 5(11): 30-34.
- Aydogdu I. The structure of one-weight linear and cyclic codes over $\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2$ codes. An International Journal of Optimization and Control: Theories and Applications 2018; 8(1): 92-101.
- Aydogdu I., Abualrub T., Siap I. On $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -additive codes. International Journal of Computer Mathematics 2015; 92: 1806-1814.
- Aydoğdu İ. Bazı özel modüller üzerinde toplamsal kodlar. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 78, İstanbul, Türkiye, 2014.

- Bilal M., Borges J., Dougherty ST., Fernàndez-Córdoba C. Maximum distance separable codes over \mathbb{Z}_4 and $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_4$. *Desings, Codes and Cryptography* 2011; 61: 31-40.
- Bonisoli A. Every equidistant linear code is a sequence of dual Hamming codes. *Ars Combinatoria* 1984; 18: 181-186.
- Borges J., Fernàndez-Córdoba C., Pujol J., Rifà J., Villanueva M. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -linear codes: generator matrices and duality. *Desings, Codes and Cryptography* 2010; 54(2): 167-179.
- Carlet C. One-weight \mathbb{Z}_4 -linear codes. In: Buchmann, J., Hoholdt, T., Stichtenoth, H., Tapia-Recillas, H. (eds.) *Coding Theory, Cryptography and Related Areas*, Springer, Berlin, 2000, 57-72.
- Çalışkan B. On one-weight and acd codes in $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_4^s \times \mathbb{Z}_8^t$. *Filomat* 2021; 35(3): 871-882.
- Dougherty ST., Liu H., Yu L. One weight $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -additive codes. *Applicable Algebra in Engineering Communication and Computing* 2016; 27(2): 123-138.
- Fernàndez-Córdoba C., Pujol J., Villanueva M. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -linear codes:rank and kernel. *Desings, Codes and Cryptography* 2010; 56: 43-59.
- Liu Z., Chen W. Notes on the value function. *Desings, Codes and Cryptography* 2010; 54(1): 11-19.
- Liu Z., Chen W., Sun Z., Zeng X. Further results on support weights of certain subcodes. *Desings, Codes and Cryptography* 2011; 61(2): 119-129.
- Wood JA. The structure of linear codes of constant weight. *Transactions of the American Mathematical Society* 2002; 354: 1007-1026.

Ekonomik Büyüme ve Tarımsal İstihdam

Şule TURHAN¹, Burcu ERDAL^{2*}

^{1,2}Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, 16059, Bursa

¹<http://orcid.org/0000-0001-9155-8170>

²<http://orcid.org/0000-0002-6839-913X>

*Sorumlu yazar: berdal@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.07.2021

Kabul tarihi: 08.11.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Ekonomik büyüme

İstihdam

Durağanlık analizi

Granger nedensellik testi

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, 1990–2019 dönemine ait TÜİK’den elde edilen gayrisafı yurtiçi hasıla, istihdam ve tarımsal istihdam verileri kullanılarak Türkiye’de büyüme ile tarımsal istihdam arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. Bu amaçla serilere durağanlık analizi ve Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkilerin yönünü belirlemek amacıyla hata düzeltme modeline bağlı Granger nedensellik testi sonucunda tarımsal GSYİH’nın tarımsal istihdama, tarımsal istihdamının ise genel istihdama tek yönlü nedensel olduğu tespit edilmiştir.

Economic Growth and Agricultural Employment

Research Article

Article History:

Received: 16.07.2021

Accepted: 08.11.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Economic growth

Employment

Stationary analysis

Granger causality test

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the relationship between agricultural growth and employment in Turkey. Using the gross domestic product, employment and agricultural employment data obtained from TURKSTAT for the period of 1990-2019. For this purpose, stationarity analysis and Granger causality test were applied. It was concluded that the data series are second order stationary with the stationarity analysis. In order to determine the direction of the relationships between variables, the Granger causality test based on error correction model revealed a one-way relationship between agricultural employment and GDP, and a two-way causality relationship between employment and GDP.

To Cite: Turhan Ş., Erdal B. Ekonomik Büyüme ve Tarımsal İstihdam. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):66-74.

Giriş

Gayrisafı yurt içi hasıla (GSYİH), ülke ekonomileri hakkında bilgi edinmeyi sağlayan ve yatırım yapmayı düşünen girişimciler için de finansal piyasalarda oldukça önemli olan bir veri kaynağıdır. Ülke sınırları içerisinde üretimi yapılan tüm nihai mal ve hizmetlerin parasal olarak değerini gösteren GSYİH ekonomi ile birebir bağlantısıyla ve ülkelerin ekonomik performansını gösteren ilk veridir (Koç ve ark.,2018). Bu nedenle ekonomik durumun iyi veya kötü olduğu hakkında bilgi edinmede ekonomik büyüme GSYİH’den hesaplanarak yorumlanmaktadır.

Ekonomik büyüme ülkelerde tam istihdam altında kullanılan ekonomik kaynakların daha etkin kullanılması veya bu kaynaklara yeni kaynakların eklenmesiyle gerçekleşmektedir (Kaynak 2005). İstihdamın tanımı yapılırsa; kısaca işgücüne katılım olarak düşünülebilir ancak aslında tüm üretim faktörlerinin birlikte ele alınarak işe katılması olarak da yorumlanabilir (Kohli, 2004; Akyıldız, 2006). İstihdamı belirleyen en önemli faktörler arasında ülke içindeki mal ve hizmet talebi yer almaktadır. İstihdam talep yönünden ele alınırsa GSYİH'yı değerlendirmek gerekmektedir. GSYİH arttığında istihdam da artmaktadır. Aynı zamanda üretim için kullanılan teknoloji, işletmelerdeki kapasite kullanım oranları, dışsattım, dışalım ve işgücü maliyeti de istihdamı etkileyen faktörler arasında yer almaktadır (Kohli, 2004; Akyıldız, 2006). Ekonomik büyümenin içeriğine göre istihdamın büyüme hızı da yön kazanabilmektedir. İstihdam ve büyüme arasındaki ilişkinin belirlenmesinde ekonomik büyümenin emek yoğun ya da sermaye yoğun büyümeye dayalı olup olmadığı önemlidir. Ayrıca ekonomik büyümenin iç veya dış pazara yönelik olduğu, nasıl gerçekleştiği ve sektördeki hızı gibi etkenler belirleyici rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra ekonomik büyümeyi belirleyen etkenler, ekonomik büyüme ile işsizlik arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemektedir (Kreishan, 2011; Kanca, 2012). Dünyadaki birçok ülke incelendiğinde ekonomik büyümenin pozitif etkisi görülmesine rağmen istihdamın istenildiği ölçüde artmadığı tespit edilmiştir. Ekonomik büyümenin teknolojik gelişmelerle sermaye yoğun yatırımların artması ile veya yönetim şekillerindeki yaşanan değişiklikler ile arttığı ancak buna karşın istihdamın artmadığı görülmektedir. Aynı durum Türkiye'de de yaşanmaktadır. Tablo 1'de son 10 yıl içerisindeki büyüme ile istihdam oranları incelendiğinde yıllara göre orantılı bir ilişkinin yaşandığını söyleyemeyiz. Yani ekonomik büyüme ile istihdam arasındaki ilişkinin bazen zayıfladığı da görülmektedir. Ya da ekonomik büyüme ile doğru orantılı olarak istihdam gelişmemektedir. Bu durumun yaşanmasının nedenleri arasında nüfus artış hızı, işgücü dışı faktörlere bağlı olan ekonomik büyüme ve çalışma saatlerinin uzunluğu sıralanabilir (Ok, 2008).

Tablo 1. Türkiye'de büyüme ve istihdam oranları (2009-2019)

Yıllar	Büyüme (%)	İstihdam(%)
2009	-4,7	0,1
2010	8,9	0,9
2011	9,2	-3,8
2012	2,2	0,4
2013	4	0,5
2014	2,9	-0,4
2015	4	0,5
2016	2,9	0,3
2017	7,4	1,3
2018	2,6	-0,6
2019	0,9	-0,7

Türkiye’de uzun yıllar istihdamın itici gücünün tarımsal istihdam olduğu bilinmesine rağmen son 15-20 yıl içerisinde istihdamın hizmet sektörüne kaydığı görülmektedir. Ancak tarım sektörü istihdamının Türkiye’deki istihdam içerisinde hala önemini koruduğu söylenebilir. Tablo 2’de tarımsal istihdamın toplam istihdam içerisindeki payı verilmiştir. TÜİK 2020 verilerine göre son on yıllık rakamlar incelendiğinde toplam istihdam içerisinde tarımsal istihdamın payının yaklaşık %23’lerden %18’lere düştüğü söylenebilir.

Tablo 2. Türkiye’de tarımsal istihdamın toplam istihdam içerisindeki payı (TÜİK, 2020)

Yıllar	Tarımsal İstihdam (%)
1990	46,88
2000	36,00
2005	25,54
2010	23,26
2015	20,60
2020	18,15

Türkiye’de istihdam edilenlerin %16,0’ı tarım, %20,7’si sanayi, %5,2’si inşaat, %58,1’i ise hizmet sektöründe yer aldı. İşgücü 2020 yılı Ocak döneminde bir önceki yılın aynı dönemine göre 196 bin kişi azalarak 31 milyon 629 bin kişi, işgücüne katılma oranı ise 1,2 puanlık azalış ile %51,0 olarak gerçekleşti.

Tarım sektörü hem ekonomi hem de istihdam açısından önemli bir sektör olmasına rağmen, sanayinin gelişmesi ve bu alandaki istihdam olanaklarının artması dünya genelindeki hızla (aşırı ve hızla birlikte uygun olmamış. Aynı anlam kuvvetini veriyorlar. Artan kentleşme sonucunda Türkiye de istihdamın azalması bazında yansımıştır. Tarımsal istihdamdaki yaş ortalamasının yüksekliği de tarımsal istihdamın geleceği için tehlike oluşturmaktadır. Durum özellikle kırsal kesimde eğitim politikalarının yaygınlaştırılması, sermayenin tarım sektörüne yönlendirilmesi ile çözülebilir. Ayrıca ülkemizde kayıt dışı istihdam oranının da yüksek olması, ücretsiz aile işçileri de tarım sektöründe yaşanan en önemli olumsuzluklar arasında yer almaktadır.

Türkiye’de istihdamın yapısı incelendiğinde tarım sektörünün her zaman önemini koruduğu düşüncesinden hareketle bu çalışmanın amacını ekonomik büyüme ve tarımsal istihdam arasındaki ilişkinin irdelenmesi oluşturmuştur. Bu amaçla TÜİK’den elde edilen istihdam verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda tarımsal istihdam ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki hakkında yorumda bulunulmuştur.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada Türkiye ekonomisi açısından önemli olan gayrisafi yurtiçi hasıla, istihdam ve tarımsal istihdam arasındaki ilişki ekonometrik olarak incelenmiştir. Bu ilişkinin tespitinde 1990-2019 yılları arasındaki yıllık gayrisafi yurtiçi hasıla, istihdam ve tarımsal istihdam verilerine ait zaman serileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan zaman serilerinde eğrisel ilişkileri doğrusallaştırmak ve varyansta kararlılık sağlamak için serilerin logaritmaları alınmıştır.

Verilerin elde edilmesin de TÜİK istatistiklerinden yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmada konu ile ilgili ulusal ve uluslararası makaleler incelenerek konu ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

Bu çalışmada 1990-2019 dönemleri arasındaki yıllık veriler kullanılarak tarımsal gayrisafi milli hasılanın büyümesi hipotezinin geçerliliği test edilmiştir. Çalışmada ilk olarak değişkenlere ait zaman serileri verilerinin durağan olup olmadıkları incelenmiştir. Zaman serileri analizlerinde serilerin durağan olmaları eğer değilse aynı dereceden durağan hale getirilmeleri gerekmektedir. Durağan olmayan zaman serileriyle çalışılması halinde sahte regresyon problemiyle karşılaşılabilir. Bu durumda regresyon analiziyle elde edilen sonuç gerçek ilişkiyi yansıtmamaktadır (Gujarati ve Porter 1999). Çalışmada durağanlık tespiti amacıyla ADF testi kullanılmıştır (Korkmaz, 2010, Akıncı ve Sevinç, 2013, Işık, 2014, Mike ve Oransay, 2015). Test %5 önem seviyesinde yapılmıştır.

Seriler arasında uzun dönemli ilişkinin tespit edilmesi nedeniyle, değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi ve ilişkinin yönü, “Granger Nedensellik Testi” yardımıyla araştırılmıştır. Granger nedensellik testi, kolay uygulanabilmesi sebebiyle en çok tercih edilen yöntemlerden biridir (Işığışık, 1994; Gökçe, 2002; Diks ve Panchenko, 2006; Takım, 2010). İki değişken için oluşturulacak hata düzeltme-geliştirilmiş Granger nedensellik modeli şu şekildedir (Yapraklı, 2010).

$$\Delta LY_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^n \beta_{1i} \Delta LT_{t-i} + \sum_{i=1}^n \gamma_{1i} \Delta LY_{t-i} + \sum_{i=1}^r \delta_{1i} ECM_{t-i} + u_t \quad (1)$$

$$\Delta LT_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^n \beta_{2i} \Delta LY_{t-i} + \sum_{i=1}^n \gamma_{2i} \Delta LT_{t-i} + \sum_{i=1}^r \delta_{2i} ECM_{t-i} + u_t \quad (2)$$

Analizlerde EViews 5.1 ekonometrik analiz paket programı kullanılmıştır

Granger nedensellik analizi iki değişken arasında zamana bağlı olarak gecikmeli ilişkinin varlığı söz konusu ise, ilişkinin nedenselliğinin yönünü istatistiksel açıdan belirlemede kullanılan bir test türüdür (Lee ve ark., 2005). Literatürde Granger nedensellik analizi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Demirhan (2005), Türkiye’de 1990 yılının ilk çeyreğinden 2004 yılının ilk çeyreği arasındaki dönemde ihracat ve büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmıştır. Nedensellik ilişkisi sonuçları ihracat ve büyüme arasında tek yönlü bir ilişkinin bulunduğunu ve bu tek yönlü ilişkinin ihracattan büyümeye doğru olduğunu göstermektedir. Bu sonuç ihracatın artırılmasına yönelik politikaların Türkiye’de büyümeyi artırdığını göstermektedir.

Gül ve Ekinci (2006), Türkiye’de nominal döviz kurları ile enflasyon arasındaki nedensellik ilişkisini incelemiştir. Yapılan analizlere göre, nominal döviz kurları ile enflasyon arasında uzun dönemli bir

ilişkinin olduğu, döviz kuru ile enflasyon arasında bulunan nedensellik ilişkisinin döviz kurundan enflasyona doğru tek yönlü olduğu tespit edilmiştir.

Bilgin ve Şahnaz (2009), 1987–2007 dönemi için aylık veriler kullanarak Türkiye’de ihracat ile büyüme arasındaki ilişkileri incelemiştir. Çalışmada ihracata dayalı büyüme hipotezi test edilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin yönünü belirlemek amacıyla hata düzeltme modeline bağlı Granger nedensellik testleri ve Toda ve Yamamoto (1995) tarafından tanımlanan dönüştürülmüş Wald (MWALD) testleri uygulanmıştır. Toda ve Yamamoto yöntemine göre, ihracata dayalı büyüme hipotezini destekleyecek bir şekilde, ihracattan sanayi üretim endeksine doğru tek yönlü Granger nedensellik olgusu gözlemlenmiştir. Bunun dışında, ihracat ile dış ticaret hadleri arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi elde edilmiştir.

Yapraklı (2010), enflasyon ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi, Türkiye açısından belirlenmeye çalışmıştır. Enflasyon oranları ile ekonomik büyüme oranı arasındaki ilişkiler, çok değişkenli eş-bütünleşme analizi ve hata düzeltme-geliştirilmiş (Ok, 2008). Granger nedensellik testleri kullanılarak ekonometrik açıdan analiz edilmiş ve enflasyondan ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada Türkiye’de GSYİH, istihdam ve tarımsal istihdam değerlerinin karşılıklı nedensellik ilişkisinin varlığının belirlenmesine çalışılmış ve ekonometrik yöntemler uygulanmıştır. Analiz yöntemi olarak Granger nedensellik testi kullanılmıştır. Serinin durağanlığının tespiti için Augmented Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Testi yapılmıştır (Patterson, 2000; Çağlayan ve Saçaklı, 2006; Akinboade ve Braimoh, 2009)

Augmented Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Testi sonucunda istihdam ve tarımsal istihdam verilerine ait zaman serileri durağan çıkmamıştır. Seriyi durağanlaştırmak için birinci farkı alınarak test edilmiştir (Korkmaz ve Yılgör, 2010).Serinin durağanlığının tespiti için Augmented Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Testi yapılmıştır (Tablo 3). Tablo 3’de her değişkene ait Augmented Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. Augmented Dickey-Fuller (ADF) Birim Kök Testi

Değişkenler				t-istatistiği	Önem derecesi*
LOGGSYIH	M	ADF testi		-7,795884	0.0000
		Kritik Değerler:	1%	-3,679322	
			5%	-2,967767**	
			10%	-2,622989*	
LOGISTIHDAM	M	ADF testi		-6,007805	0,0033
		Kritik Değerler:	1% 1	-4,142246***	
			5%	-3,689194**	
			10%	-2,625121*	
LOGISTIHDAM	M	ADF testi		-4,118204	0.0011
		Kritik Değerler:	1%	-3,689194***	
			5%	-2,971853**	
			10%	-2,625121	

*,**,*** sırasıyla %10,%5,%1 boş hipotezin reddedildiğini göstermektedir.

Gayrisafi safi yurtiçi hasıla zaman serisi %5 önem seviyesinde test istatistiği (-7,795884) mutlak değerce tablo değerden (2,967767) olduğundan, durağanlığın varlığını savunan H0 hipotezi reddedilmez. Seri sabitte ve trendde durağandır. İstihdam zaman serisi dizisi %5 anlamlılık düzeyinde test edildiğinde; test istatistiği değeri (-6,007805), -3,689194) olan tablo değerinden mutlak değerce büyüktür. Zaman serisi dizisi durağandır. Tarımsal istihdam zaman serisi dizisi %5 anlamlılık düzeyinde test edildiğinde; test istatistiği değeri (-4,118204), (-2,971853) olan tablo değerinden mutlak değerce büyüktür. Zaman serisi dizisi durağandır. Bu seri de diğer veri setinde olduğu gibi sabitte ve trendde birinci farkta durağandır.

Yapılan VEC. Granger nedensellik hipotez sonuçlarına göre GSYİH ile İSTİHDAM ve TİSTİHDAM arasında nedensellik ilişkisi bulunmamaktadır. GSYİH da ise meydana gelebilecek bir değişim (artış ya da azalış) TİSTİHDAM ve İSTİHDAM üzerinde herhangi bir etkiye sahip değildir

2001 krizinden sonra ekonomik büyüme ile istihdam arasındaki Granger nedensellik sınaması GSYİH'dan istihdama yönelik tek yönlü bir ilişki olduğu, yani GSYİH'da meydana gelen bir artışın istihdam oranında da artışa neden olduğu gözlemlenmiştir (Korkmaz ve Yılgör, 2010).

Türkiye'de dönem dönem görülen yüksek oranlı büyümeye rağmen istihdam artmamış ve hatta bazı dönemlerde büyümeye karşılık işsizlik artmıştır. Türkiye ekonomisinde 2000-2011 döneminde ekonomik büyüme ile istihdam arasındaki ilişkiye bakıldığında iki değişkenin aralarında Granger nedenselliği olmadığı sonucuna varılmıştır (Özdemir ve Yıldırım, 2013). Yapılan Granger Analizi sonucu GSYİH dan TİSTİHDAM'a tek yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle

GSYİH TISTIHDAM'daki değişimin nedenidir. Yine aynı şekilde TISTIHDAM'dan ISTIHDAM'a tek yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. VAR Granger Nedensellik Testi (Hata Düzeltme Terimi ile)

H ₀ hipotezi	Ki-Kare	df	Olasılık
ISTIHDAM GrangerGSYİH'ı etkilemez	0,900454	2	0,6375
TISTIHDAM GrangerGSYİH'ı etkilemez	1,033604	2	0,5964
GSYİH GrangerISTIHDAM'ı etkilemez	5,724775	2	0,0571
TISTIHDAM GrangerISTIHDAM'ı etkilemez	9,371474	2	0,0092
GSYİHGrangerTISTIHDAM'ı etkilemez	11,85792	2	0,0027
ISTIHDAM GrangerTISTIHDAM'ı etkilemez	2,512725	2	0,2847

Gecikme sayısı:1

Sonuç

Çalışmada, 1990-2019 dönemlerine ait yıllık GSYİH, istihdam ve tarımsal istihdam veri serileri kullanılarak, veri serileri arasındaki ilişki ekonometrik açıdan incelenmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmak amacıyla hata düzeltme geliştirilmiş, Granger nedensellik testlerinden faydalanılmıştır. Verilerin analizi sonucunda gayrisafi yurtiçi hasıla ile tarımsal istihdam arasında nedensellik ilişkisi saptanmıştır. Ülkenin gayrisafi yurtiçi hasılasının artışı tarımsal istihdamı olumlu olarak etkilemektedir. Ülkedeki tarımsal istihdam ile toplam istihdam arasındaki nedensellik ilişkisine bakıldığında ise tek yönlü bir ilişki saptanmıştır. Başka bir deyişle tarımsal istihdamdaki artış gayrisafi milli hasılayı artırırken, azalış ise gayrisafi milli hasılda azalışa neden olmaktadır GSYİH ülkedeki tarımsal istihdamı artırmaktadır. Tarımdaki istihdamın artması ülke ekonomisine olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Bu nedenle tarımsal istihdamı artırıcı politikaların izlenmesi önemlidir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan ederler.

Kaynakça

Akıncı M., Sevinç H. AR-GE harcamaları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki: 1990-2011 Türkiye örneği. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi 2013; 6(27): 7-17.

- Akinboade O., Braimoh L. International tourism and economic development in South Africa: a Granger causality test. *International Journal of Tourism Research* 2009; 12(2): 149-163.
- Akyıldız H. Türkiye’de istihdamın analitik dinamiği, Asil Yayın Dağıtım 2006; Ankara.
- Bilgin C., Şahbaz A. Causality relations between growth and exportin Turkey. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2009; 8(1): 177-198.
- Çağlayan E., Saçaklı İ. Satın alma gücü paritesinin geçerliliğinin sıfır frekansta spektrum tahmincisine dayanan birim kök testleri ile incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 2006; 20(1): 121-137.
- Demirhan E. Büyüme ve ihracat arasındaki nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi* 2005; 60-64.
- Diks C., Panchenko V. A new Statistic and practical guidelines for nonparametric Granger causality testing. *Journal of Economic Dynamics and Control* 2006; 30(9-10): 1647-1669.
- Gökçe A. İMKB’de fiyat hacim ilişkisi: Granger nedensellik testi. *G.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi* 2002; 3(2002): 43-48.
- Gujarati DN., Porter DC. *Essentials of econometrics*. McGrawHill, fourth edition 1999; 554
- Işık C. Patent harcamaları ve iktisadi büyüme arasındaki ilişki: Türkiye örneği. *Sosyo ekonomi* 2014; 2014(1): 69-86.
- Gül E., Ekinci A. Türkiye’de enflasyon ve döviz kuru arasındaki nedensellik ilişkisi: 1984-2003. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2006; 6(1):91-106.
- Işığışık E. Zaman serilerinde nedensellik çözümlemesi. Bursa: Uludağ Üniversitesi Basımevi 1994.
- Kanca OC. Türkiye’de işsizlik ve iktisadi büyüme arasındaki nedenselliğin ampirik bir analizi. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2012; 21(2): 1-18.
- Kaynak M. *Kalkınma İktisadı*. Ankara Gazi Kitapevi 2005.
- Koç E., Şenel MC., Kaya K. Dünyada ve Türkiye’de sanayileşme I-strateji ve temel sanayileşme sorunları. *Mühendis ve Makine* 2018; 59(690): 1-26
- Kohli U. Real GDP, real domestic income, and terms-of-trade changes. *Journal of International Economics* 2004; 62(1): 83-106.
- Korkmaz S. Türkiye’de AR-GE yatırımları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin VAR modeli ile analizi. *Yaşar Üniversitesi Dergisi* 2010; 20(5): 3320-3330.
- Korkmaz S., Yılgör M. 2001 krizinden sonra Türkiye’de büyüme ve istihdam arasındaki ilişki. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 2010; 8(14): 169-176.
- Kreishan FM. Economic growth and unemployment: An empirical analysis. *Journal of Social Sciences* 2011; 7(2): 228-231.
- Lee CG., Ramasamy B., Yeung M. FDI and pollution: a grangercausality test using panel data *Journal of International Development* 2005;17(3): 311-317.

- Mike F., Oransay G. Altyapı ve inovasyon değişimlerinin doğrudan yabancı yatırımlar üzerine etkisi: Türkiye üzerine ampirik bir uygulama. *The Journal of Academic Social Science* 2015; 3(12): 372-381.
- Ok S. Ekonomik büyüme ile istihdam arasındaki ilişkinin zayıflama nedenleri ve bu ilişkinin güçlendirilmesinde İŞKUR'un rolü. Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Türkiye İş Kurumu Genel Müdürlüğü 2008,Ankara.
- Özdemir BK., Yıldırım S. Türkiye'de ekonomik büyüme ve istihdam arasındaki nedensellik ilişkisinin analizi: Özçıkırmalı dalgacık yaklaşımı. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2013; 38: 97-115
- Patterson K. An introduction to applied econometrics: A time series approach. Palgrave, NewYork 2000; 130: 822.
- Takım A. Türkiye'de büyüme ve işsizlik arasındaki ilişki Granger nedensellik analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2010; 14(2): 1-16.
- Yapraklı S. Enflasyon ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Türkiye için eş-bütünleşme ve nedensellik analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2010; 10(2):287-301.

Yenilenebilir Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi ve Enerji Yönetimiyle Enerji Verimliliği

İrem ARHAN^{1*}, Mehmet Zeki BİLGİN²

^{1,2}Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli

¹<https://orcid.org/0000-0002-9455-2441>

²<https://orcid.org/0000-0003-3971-4230>

*Sorumlu yazar: irem.arhan@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.05.2021

Kabul tarihi:26.08.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir enerji
Fotovoltaik sistemler
Enerji yönetimi
Enerji verimliliği

ÖZ

Günümüzde enerji talepleri gitgide artmaktadır. Talep edilen enerjinin karşılanması için gelişen teknolojik cihazların ve yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Bu yapıların hayata geçirilmesiyle çevresel kirliliğinin önlenmesinin yanında enerji verimliliği de sağlanmaktadır. Günlük hayatta hem enerji gereksiniminin karşılanması hem de çevreye zarar vermeden kaynakların kullanılması adına yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, günümüzde enerji üretimi için kullanılan kaynakların başında gelmektedir. Fakat fotovoltaik (PV) panellerin enerji dönüşümündeki verimliliklerinin yeterli seviyede olmaması kullanım alanını kısıtlamaktadır. Fotovoltaik sistemler çevresel parametrelere bağlı olarak çalıştığından değişken koşullarda üretilen enerji her an aynı seviyede olmamaktadır. Fotovoltaik sistemlerin maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı maksimum güç noktasının takip (MPPT) edilip hep bu noktada çalıştırılmasıyla sistemden maksimum oranda enerji verimi sağlanmaktadır. Enerji verimliliği sadece üretimle ilgili değil, aynı zamanda enerjinin yönetilmesi ile de ilgilidir. Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerde, sabit sıcaklık ve değişken ışınım değerleriyle çalışma durumunda MPPT algoritmaların ve geliştirilen enerji yönetim sistemi ile birlikte kullanılması ile sistemin enerji verimliliğinin artırılması sağlanmaya çalışılmıştır. Tüm sistem MATLAB/Simulink ortamında modellenerek benzetim sonuçları yorumlanmıştır.

Energy Efficiency with Maximum Power Point Tracking and Energy Management in Renewable Systems

Research Article

Article History:

Received: 23.05.2021

Accepted: 26.08.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Renewable energy
Photovoltaic systems
Energy management
Energy efficiency

ABSTRACT

Today, energy demands are increasing gradually. In order to meet the requested energy, it is necessary to use the developing technological devices and methods. With the implementation of these structures, energy efficiency is ensured as well as preventing environmental pollution. In daily life, renewable energy source systems preferred in order to provide the energy requirements and to use sources without harming the environment. The sun, which is one of the renewable energy sources, is first of the sources used for energy production today. But, the efficiency of photovoltaic (PV) panels are not sufficient in energy conversion. This situation limits the usage area. Photovoltaic systems operate depending on different environmental parameters such as temperature and radiation. All the time, the energy produced isn't at the same level under variable conditions. The maximum power point of photovoltaic systems is tracked. With always operating the system at this point, maximum energy efficiency is achieved. Energy efficiency is not only about production, at the same time, about managing energy. In this study, it has been tried to increase

the energy efficiency of the system by using MPPT algorithms and the developed energy management system in the case of working with constant temperature and variable radiation values in photovoltaic systems. The all system was modelled in the MATLAB/Simulink. The simulation results were interpreted.

To Cite: Arhan İ., Bilgin MZ. Yenilenebilir Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi ve Enerji Yönetimiyle Enerji Verimliliği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):75-91.

Giriş

Yaşamda kaliteyi arttıran, sanayi üretimi için temel gereksinimlerden biri olan, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli unsurlardan biri elektrik enerjisidir. Nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç artarken, bunun aksine enerji kaynakları azalmaktadır. Dünya kaynaklarının tükenmesi, küresel ısınma gibi birçok sorun meydana gelmektedir. Doğal ve yenilenebilir kaynaklara yönelimin artırılması sadece çevre için değil gelecek için de önem arz etmektedir. Bu nedenle birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmek, en etkin çözüm olarak görülmektedir. Dünyada birçok ülke güneş, rüzgâr, su gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının meydana getirdiği sistemleri hayatlarının merkezinde konumlandırmış durumdadırlar. Enerji elde etmek ne kadar önemli ise enerjinin verimli kullanılması, var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik yapıda olması da bir o kadar önemli hale gelmiştir. Günümüzde gitgide popüler olan yenilenebilir enerji kaynaklarının daha da fazla kullanımına ve şebekeye dahil edilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Güneş, temel enerji kaynağıdır ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Alternatif enerji kaynakları içerisinde en popüler olanıdır. Elektrik enerjisi üretimi için fotovoltaik (PV) panellerin kullanımı enerji krizini ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır. Dünya çapında kullanımı hızla artan PV paneller aynı zamanda ülke çapında dışa bağımlılığı da azaltmaktadır. PV paneller, doğru akım üretmektedir. Bu sebeple, uygun güç ve gerilimdeki her türlü alıcı ile güç dönüştürücüleri yardımı ile bağlantı sağlanabilir. Panellerin kaynağının sınırsız olması ve çevre kirliliği oluşturmamasından dolayı tercih sebebidir. PV sistemlerin kurulum maliyetinin nispeten yüksek ve verimlerinin ise düşük olması gibi dezavantajların hafifletilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Üretim maliyetinin düşürülmesinin yanında panellerin maksimum verimde çalıştırılması da yapılan çalışmalar arasındadır.

Çevre dostu olan rüzgâr, güneş ve mikro hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklardan oluşmuş mikro şebekelerde enerji yönetimi stratejileri geliştirilerek daha verimli kullanılması sağlanmaktadır. Sözü edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji, yükün ihtiyacından fazla ise artan enerji; batarya şarjı ve hidrojen üretimi gibi yöntemlerle depolanabilmektedir. Bu stratejilerin yanı sıra çalışmaların en başında yapılacak olan sistemin olabildiğince verimli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kullanılacak kaynağın coğrafi koşullara uygun olarak seçilmesi, artan enerjisinin sonradan kullanılabilir kılınması için uygun enerji depolama sisteminin seçilmesi ve sistemdeki cihazların optimum düzeyde çalışması için yönlendirici kontrol mekanizmalarının bulunması gerekmektedir.

PV panellerin verimliliğini etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin göz önünde bulundurulmasıyla sistem tasarımının yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde talep edilen enerji gereksinimi daha yüksek maliyetli ve geniş alan kaplayan sistemler tarafından karşılanması gerekmektedir. Panel girdisi olarak sıcaklık ve ışınım değerleri doğrudan üretilen gücü etkilemektedir. Bu parametrelerin çevresel faktör olmasından dolayı bölgesel olarak veri analizi yapılması gerekmektedir.

Sıcaklık değişiminden az etkilenen panel seçimiyle sürekli değişen hava koşullarına uyum sağlanabilir. Panel yüzeyine düşen ışınım miktarı ne kadar fazla olursa üretilen enerji miktarı da o kadar fazla olacaktır. Bu yüzden panelin olabildiğince ışınımın fazla olduğu bölgelerde konumlandırılması gerekmektedir. Işınım gereksiniminin dışında hava güneşli dahi olsa gölgelenme olabilmektedir. Bunun için sisteme, güneş takip sistemleri eklenebilmektedir. Değişken koşullarda dahi olsa panelde optimum oranda verim sağlayabilmek için maksimum güç noktasının takip edilmesi gerekmektedir (Mousazadeh ve ark., 2009).

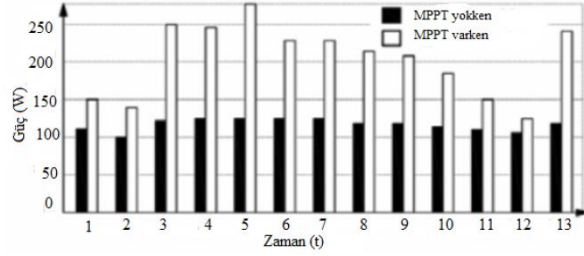
Sistem tasarımı ve cihaz seçiminde olabildiğince verimlilik oranı göz önünde bulundurularak seçimler yapıldığında oluşturulan sistem bir o kadar verimli hale gelmektedir. Sadece enerji üretiminde verimin sağlanması yeterli değildir. Aynı zamanda enerjinin doğru yönlendirilmesi ve kullanılması da gerekmektedir. Bu durum genel olarak sistem verimliliğini etkilemektedir. Enerji yönetim stratejileri sayesinde enerji sürekliliğini sağlayan ve talebi karşılama bile yarını bugünden planlayarak olabilecek durumların önceden düşünülmesiyle çözüm sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, tasarlanan konut tipi yenilenebilir enerji üretim sisteminde, MPPT ve enerji yönetim sisteminin verimliliğe etkisi MATLAB/Simulink modeli kullanılarak incelenmiştir.

Maksimum Güç Noktası Takibi

Havadaki en ufak değişiklik panellerdeki üretilen enerjiyi doğrudan etkilemektedir. Işınım ve sıcaklık bu durumdaki en önemli değişken parametrelerdir. Çevresel faktörlere bağlı olduğu için her an her durumda aynı miktarda enerji üretimi söz konusu değildir. Bölgesel olarak değişen elde edilen enerji miktarı gün içerisinde gölgelenmeye bağlı olarak değişmektedir. Yaz aylarında, öğlen vakitlerinde üretilen enerji miktarı kış aylarında, akşam vakitlerinde üretilen enerji miktarına göre fazla olmaktadır. Her an aynı enerji miktarı elde edilemese bile panelden elde edilebilecek enerji miktarını optimum düzeyde tutacak MPPT (Maximum Power Point Tracking - Maksimum Güç Noktası Takibi) sistemleri kullanılmaktadır.

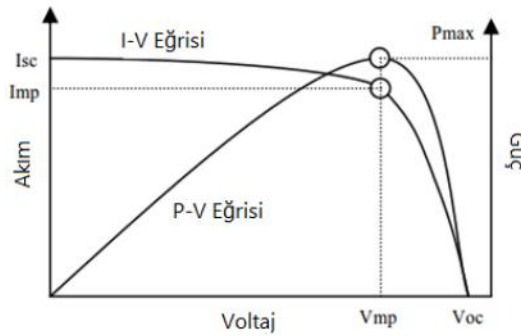
MPPT, panelin güç verimliliğini arttıran bir tekniktir. Bu teknik sayesinde elde edilen çıkış gücü kontrolsüz olarak elde edilen güce oranla %45 civarında arttırabilmektedir (Panwar ve Saini, 2012). Şekil 1’de MPPT’li ve MPPT’siz elde edilen güçlerin karşılaştırılması verilmiştir. Elde edilen güç, ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak yalnızca uygun akım-gerilim değerinde en yüksek değere ulaşır.



Şekil 1. MPPT'li ve MPPT'siz elde edilen güçler (Panwar ve Saini, 2012)

Bu değer, PV eğrisindeki bir noktayı temsil etmektedir. Panel tarafından üretilen maksimum kapasiteyi göstermektedir (Khatib ve ark., 2010; Chaichan ve ark., 2015). Maksimum güç noktasının belirlenmesi için tasarlanacak PV sistemin ve yükün arasında uygun izleyicinin konulması gerekmektedir. Sistemi ve çevresel parametrelerdeki değişiklikleri takip eden bir mekanizmanın olması panelden maksimum oranda faydalanılması ve verimliliğin artması açısından önemlidir.

PV panelin çalışma karakteristiği göz önünde bulundurulduğunda, enerji üretiminin maksimum seviyede olması her zaman bu enerjinin sistem tarafından maksimum oranda yüke aktarıldığı anlamına gelmez. PV paneller geniş akım ve gerilim alanında çalışmaktadır. Bu durum çalışmasının çevresel faktörlere bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat Şekil 2'de görüldüğü gibi bu geniş çalışma aralığında gücün maksimum seviyeye ulaştığı sadece bir tane maksimum güç noktası bulunmaktadır (Özçelik, 2015). Her zaman bu nokta aynı değerde bulunmamaktadır. Işıma, sıcaklık, PV panel eğimi, PV panel yaşlanması gibi çevresel şartlar ve yapısal özellikler bu noktayı değiştirebilmektedir. Değişken olan bu noktanın takip edilmesi ve sistemin bu nokta üzerinde çalışılmaya zorlanması gerekmektedir.



Şekil 2. PV panelin çalışma eğrisi ve maksimum güç noktasının değişimi

Panelin ürettiği güç doğrudan yüke aktarılması için bağlandığında, panel çıkışı nadiren maksimum güç noktasında çalışmış olacaktır ve bu çalışma noktası optimal değildir. MPPT sistemlerin yük ve panel arasına bağlanmasıyla bu durum kontrol altına alınmış olmaktadır. MPPT sistemi, çevresel koşulların takibinden sonra PV sistemin bu noktada çalışmasını ve her değişiklikte de bu noktanın tespit edilmesiyle o noktada çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır.

DC/DC dönüştürücüler, kaynak ve yük arasında maksimum enerji aktarımını sağlayan önemli devre elemanlarıdır. Panel ve yük arasına eklenmesiyle panelin ürettiği akımı veya gerilimi kontrol ederek yüke her zaman optimal düzeyde enerjinin aktarılmasını sağlar. Bu durum, maksimum güç izleyici yöntemleri kullanılarak DC/DC dönüştürücü kontrolüyle sağlanmaktadır. Sistemdeki yük profili, değişken atmosferik koşullar ve sistemin çalışma yapısı gibi değişken durumlardan dolayı günümüze kadar birçok farklı çeşitte MPPT yöntemi geliştirilmiştir. En çok bilinen ve yaygın olan Değiştir ve Gözle (P&O), Arttırılmış İletkenlik (IC) ve Bulanık Mantık tabanlı yöntemlerdir.

Değiştir ve Gözle (P&O) Yöntemi

MPPT çalışmalarında kullanılan en yaygın yöntemdir. Sağladığı kabul edilebilir doğruluğa sahip olması ve kolay uygulanabiliyor olması tercih sebebidir. Ayrıca yöntemin sistem parametrelerine bağlı olmaması en büyük avantajlarından biridir. Ani ışınım değişimlerine karşı hızlı cevap vermemesi dezavantajıdır.

Yöntem, maksimum güç noktasının bulunması için panel geriliminin veya akımının değiştirilmesiyle gerçekleşen değişikliğin gözlemlenmesine dayanır. Gerilim veya akımda bir yönde yapılan değişiklik sonucu güçte artışa neden oluyorsa aynı yönde gerilim veya akımda değişikliğe devam edilir. Güçte azalma meydana geliyorsa tersi yönde değişiklikler gerçekleştirilir. Tablo 1’de bu değişimlerin yönleri ve güçteki değişimle sonraki adımdaki değişim yönleri verilmiştir. Bu işlem maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam ettirilir (Khadidja ve ark., 2017).

Tablo 1. P&O yöntemin işleyiş adımları

Değişim	Güçteki Değişim	Sonraki Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Sonrasında bu güç noktası çevresinde salınım meydana gelir. Salınımın azaltılması için değişim adımları küçültülmektedir. Fakat bu adım küçülmesinden dolayı maksimum güç noktasına ulaşım süresi de uzamaktadır. Bu sebeple maksimum güç noktasından uzakta olduğunda adımları daha büyük tutarak hızlı bir şekilde güç noktasına ulaşırken, güç noktasına yakın olduğu zaman adımların daha düşük tutulması bu soruna çözüm sunmaktadır (Ullah ve ark., 2019).

Artan İletkenlik Yöntemi

Artan iletkenlik yönteminde, panel güç-gerilim eğrisinin eğiminin incelenmesiyle sistemin maksimum güç noktasının nerede olduğuna karar verilerek panel çalışma gerilimi ona göre değiştirilmektedir (Ayserim ve Ay, 2019). Tablo 2’de sistemin çalışma geriliminin eğimine göre konumu verilmiştir.

Tablo 2. Artan iletkenlik yöntemiyle maksimum güç noktasının bulunması

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$dP/dV=0$	Maksimum Güç Noktasında
$dP/dV>0$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$dP/dV<0$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

İletkenlik eğim denklemi eşitlik (1)'e göre düzenlenirse Tablo 3 elde edilir.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (1)$$

Tablo 3. Tablo 2'nin eşitlik (1)'e göre düzenlenmiş hali

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$\Delta I/\Delta V = -I/V$	Maksimum Güç Noktasında
$\Delta I/\Delta V > -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$\Delta I/\Delta V < -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

Artan iletkenlik yöntemi, değiştir ve gözle yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Fakat maksimum güç noktasının eğim üzerinden bulunması ani atmosfer değişikliğinde ve düşük radyasyon değerlerinde P&O yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir. Adım aralığına bağlı olarak maksimum güç noktası etrafında salınımlar oluşmaktadır. Adım aralığının büyük olması takip hızını arttırmasına karşın sistem verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Karmaşık bir kontrol devresine gereksinim duyması da diğer dezavantajdır (Reisi ve ark., 2013; Deveci ve Kasnakoğlu, 2014). Bu çalışmada oluşturulan MPPT yapısı artan iletkenlik yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

Enerji Yönetimi

İlerleyen teknoloji ve artan nüfusla enerji talepleri artmaktadır. Taleplerin karşılanabilmesi amacıyla birçok enerji üretim sistemleri kurulmuştur. Oluşturulan bu sistemlerin olabildiğince fazla enerji üretmesi enerji verimliliği açısından yeterli değildir. Enerji üretimi dışında dağıtımının ve kullanımının da verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Kaynakların ve enerjinin verimli kullanılmasına yönelik yapılan çalışmaların hepsi enerji yönetimini kapsamaktadır. Enerji yönetim sistemleri; üretimden, kaliteden ve güvenlikten ödün vermeyen çalışmalardır. Amaç, yapılabilecek çalışmalar ve önlemlerle enerji tasarrufu sağlamak ve üretim maliyetlerini en aza indirmektir (Olatomiwa ve ark., 2016).

Sistem verimliliği için sadece üretimin optimum düzeyde olması yeterli değildir. Optimum üretimin yanında enerji kullanımında da verimli olması gerekmektedir. Üretilen enerjinin olabilecek durumlara karşı verimli bir şekilde yönlendirilmesiyle verimlilik artmaktadır. Enerji yönetim algoritmaları sayesinde kullanıcıların talepleri göz önünde bulundurularak o an olabilecek en optimum çözümün sistemde uygulanması sağlanır (Capehart ve ark., 2016).

Artan iklim değişikliği ve küresel ısınmadan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Sadece üretim tesislerinde değil konut tipi yapılarda da bu tür sistemlerin yaygınlaşması git gide artmaktadır. Özellikle birçok yenilenebilir sistemin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler sayesinde her an talepler karşılanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerde yapılan enerji yönetimiyle üretim kaynaklarının hibrit bağlanarak üretilen enerjiyi yüke aktarmak veya artan enerjinin ihtiyaç halinde kullanılabilmesi için depolama birimlerinde depolanması sağlanmaktadır. Depolama biriminin dolu olması halinde artan enerjinin farklı bir birim tarafından kullanması amacıyla yönlendirilmektedir. Ayrıca ana üretim kaynağının ve depolama biriminin talep için yeterli gelmediği durumlarda hibrit sistemdeki diğer kaynaklardan talebin karşılanmasına olanak sağlamaktadır. Böylece enerjinin verimli üretimi ve kullanımının yanı sıra enerji sürekliliğini de sağlamış olmaktadır (Leitão ve ark., 2020).

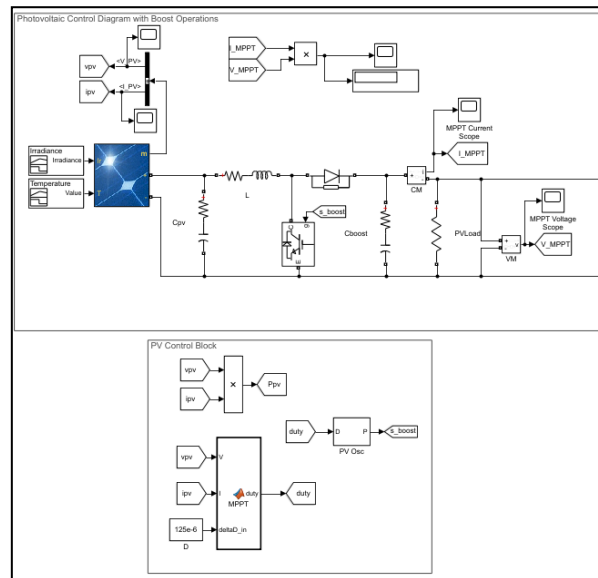
Sistemin Modellenmesi

Yenilenebilir enerji sistemlerinden PV panel ve yakıt hücresi ile beslenen, enerji depolama birimi olarak batarya kullanan, gerektiğinde ihtiyaç fazlası enerjiyi şebekeye aktarabilen ve enerji yönetim sistemine sahip konut tipi enerji üretim sistemi tasarlanmıştır.

Sistem, MATLAB/Simulink üzerinde modellenmiştir ve oluşturulan modelin genel yapısı Şekil 5'te verilmiştir. Sabit sıcaklık (25 °C), değişken ışınım değerlerinde sistemin çalışmasıyla MPPT kullanımı sonucunda sisteme aktarılan güç değerindeki değişimin ve enerjinin enerji yönetim algoritmasına bağlı kullanımıyla sistemdeki enerji verimliliğine etkileri incelenmiştir.

PV ve MPPT Modeli

Şekil 3'te MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan sistemin PV sistem modeli verilmiştir.



Şekil 3. PV sistem Simulink modeli

Oluşturulan modelde, ışınım ve sıcaklık değerleri panel için giriş verilerini oluşturmaktadır. Girilen değerler sonucunda panel çıkışında akım ve gerilim çıktıları oluşmuştur. Panelin artı ve eksi kutupları DC/DC dönüştürücünün besleme uçlarına bağlanmıştır. MPPT biriminde, maksimum güç noktasını belirleyecek fonksiyon bulunmaktadır. Panelin çıkış akımı ve gerilimi fonksiyonun girdilerini oluşturmaktadır. Bu veriler panelden alınmaktadır. MPPT biriminde çıktı olarak darbe genişlik modülasyonu (PWM) elde edilir. PWM, DC/DC dönüştürücüde anahtarlama elemanının tetikleme ucuna bağlanarak DC/DC dönüştürücünün doluluk oranı ile kontrol edilir. MPPT birimi kullanılmadığı zaman DC/DC dönüştürücüdeki anahtarlama elemanı, PWM generatör tarafından üretilen sabit bir doluluk oranı ile tetiklenir. Tablo 4’te kullanılan panelin elektriksel değerleri verilmiştir (Deveci ve Kasnakoğlu, 2014).

Tablo 4. Panel parametre değerleri

Parametre	Değer
Kısa Devre Akımı (A)	7,84
Açık Devre Gerilimi (V)	36,3
Maksimum Güçte Akım (A)	7,35
Maksimum Güçte Gerilim (V)	29

Yükseltici tip DC/DC dönüştürücünün çıkış gerilimi eşitlik (2)’de verildiği gibi (Hashim ve ark., 2018);

$$V_c = \left(\frac{1}{1-D} \right) V_g \quad (2)$$

hesaplanır. D, doluluk-boşluk oranıdır. Sistemde kullanılan endüktans ve kapasitans değerlerinin belirlenmesi için ortalama akımın endüktansa bağlı ifadesi eşitlik (3)’te, ortalama gerilimin kapasitansa bağlı ifadesi ise eşitlik (4)’te verilmiştir.

$$\Delta I_L = \frac{V_c(1-D)D}{Lf_s} \quad (3)$$

$$\Delta V_c = \frac{V_c D}{RCf_s} \quad (4)$$

Eşitlik (3) ve (4) birleştirilerek kapasitans ve endüktans arasındaki ilişki eşitlik (5)’teki gibi bulunur. Tablo 5’te tasarlanan yükseltici tip dönüştürücünün devre elemanlarının parametre değerleri verilmiştir.

$$\Delta V_c = \frac{\Delta I_L L}{RC(1-D)} \quad (5)$$

Tablo 5. Yükseltici tip dönüştürücünün devre elemanlarının parametre değerleri

Elemanlar	Değer
C _{pv}	0,1 mΩ - 100 μF
L	0,1 Ω - 5 mH
C _{boost}	0,1 mΩ - 3300 μF
PVLoad	6 Ω

Enerji Yönetim Algoritması

Enerji yönetim algoritması, üretilen enerjinin o an için sistemlerin durumuna göre enerjinin verimli bir şekilde yönlendirilmesini sağlamaktadır. Enerjinin yönlendirilmesi sistemdeki anahtarların konumlarının değiştirilmesiyle sağlanmıştır.

Tasarlanan sistemin talep gücü 560 W'dır. 24 V, 50 Ah'lık batarya sistemi; 1,26 kW, 24 V'luk PEM tipi yakıt hücresi kullanılmıştır. Sistemdeki enerjinin verimli bir şekilde yönlendirilmesi üzerine 5 farklı senaryo düşünülmüştür.

Senaryo 1: Panelin ürettiği güç, sistem tarafından talep edilen güç (yük) değerinden fazladır. Talep, panel tarafından karşılanmaktadır. Artan gücün kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya doludur. Bu yüzden artan gücün tamamı şebekeye satılır.

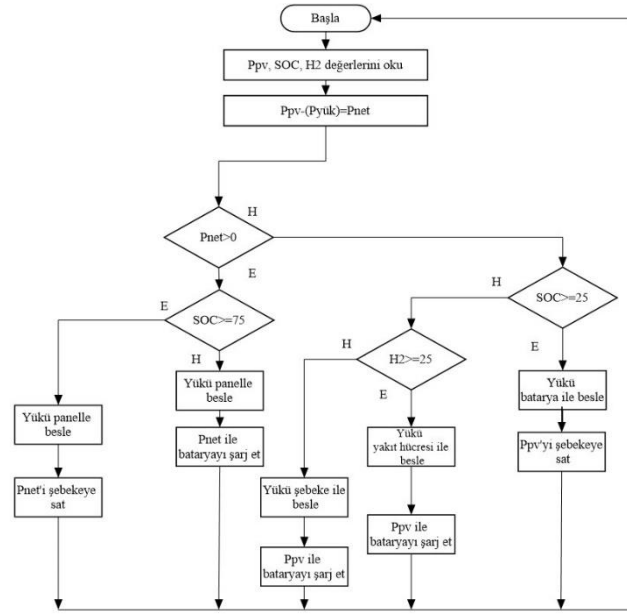
Senaryo 2: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç değerinden fazladır. Talep, panel tarafından karşılanmaktadır. Artan gücün kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya yarı dolu veya boştur. Bu yüzden artan güç, batarya şarjı için kullanılır.

Senaryo 3: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç için yeterli değildir. Talebin karşılanabilmesi için durum kontrolü yapılır. Batarya doludur ve talep batarya tarafından karşılanır. Panelin ürettiği güç ise şebekeye satılır.

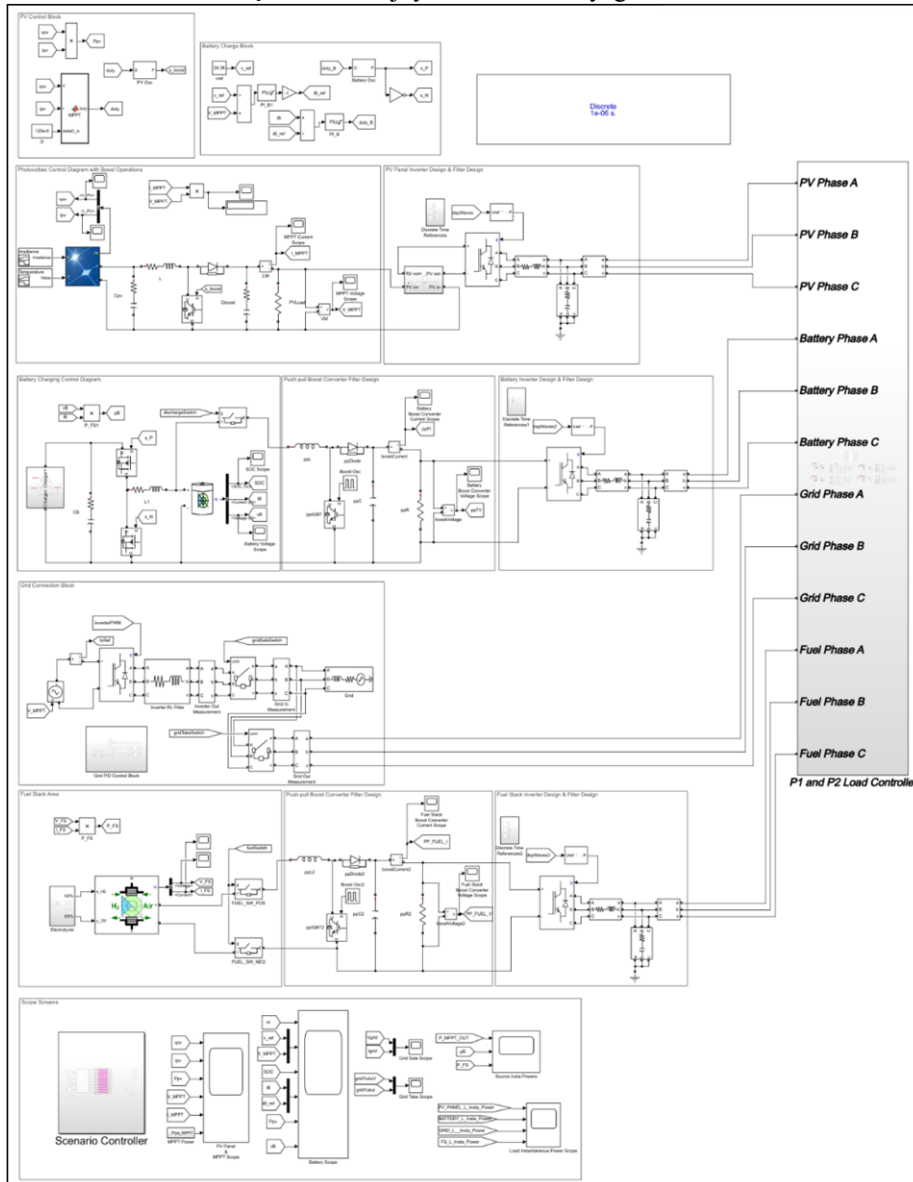
Senaryo 4: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç için yeterli değildir. Talebin karşılanabilmesi için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur fakat yeterli miktarda hidrojen bulunmaktadır. Talep, yakıt hücresi tarafından karşılanır. Panelin ürettiği güç ise batarya şarjı için kullanılır.

Senaryo 5: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç için yeterli değildir. Talebin karşılanabilmesi için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur, yakıt hücresinde yeterli hidrojen yoktur. Bu yüzden talep şebeke tarafından karşılanır. Panelin ürettiği güç ise batarya şarjı için kullanılır.

Şekil 4'te senaryoları içeren enerji yönetim algoritmasının blok diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 4. Enerji yönetimi blok diyagramı



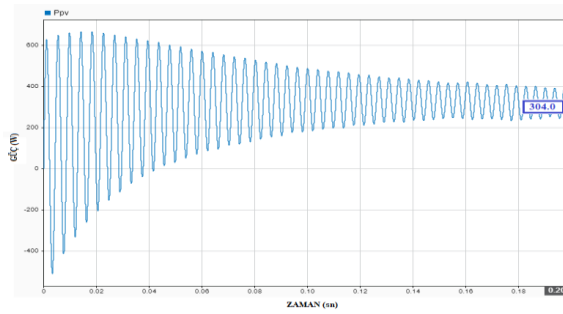
Şekil 5. Oluşturulan modelin genel yapısı

Benzetim Sonuçları

İlk olarak sistem, MPPT etkisinin gözlemlenebilmesi için 25 °C sıcaklıkta 600 W/m² ve 650 W/m² ışınım değerlerinde çalıştırılarak güç değerleri ölçülmüştür. Sonrasında enerjinin kullanımına dair senaryolar işletilerek kaynakların yük üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

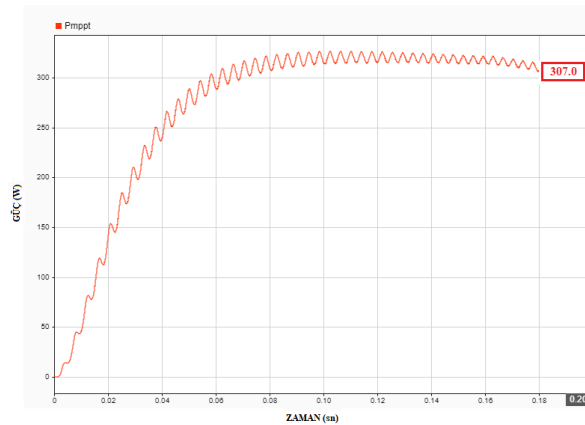
MPPT Etkisi

Şekil 6'da MPPT etkisi olmadan 600 W/m² ışınımında sistemin çalıştırılması sonucunda zamana bağlı elde edilen güç değişimi verilmiştir.



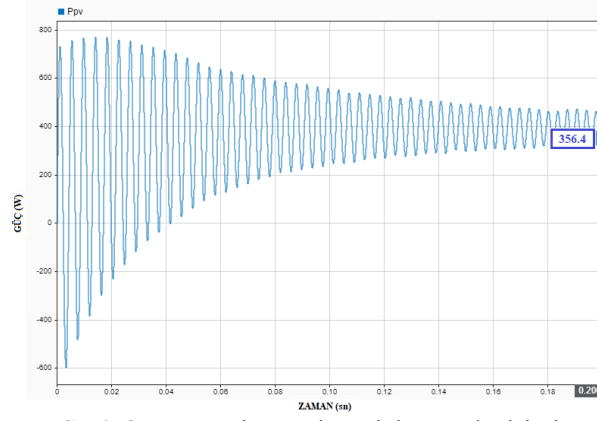
Şekil 6. MPPT'siz PV sisteminin güç değişimi

Şekil 7'de MPPT etkisi varken 600 W/m² ışınımında sistemin çalıştırılması sonucunda zamana bağlı elde edilen güç değişimi verilmiştir.

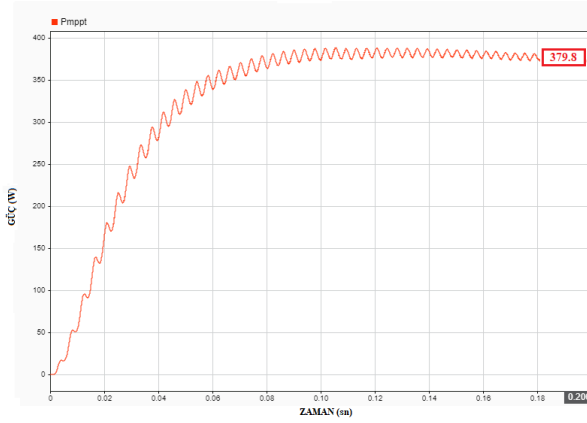


Şekil 7. MPPT'li PV sisteminin güç değişimi

Elde edilen veriler incelendiğinde 600 W/m² ışınım değerinde 0,2 anında MPPT etkisi yok iken 304 W, MPPT etkisi var iken 307 W güç ölçülmüştür. Aynı işlemler 650 W/m² ışınım değeri için uygulandığında Şekil 8'de MPPT etkisi olmadan, Şekil 9'da MPPT etkisiyle çalıştırılması sonucunda zamana bağlı elde edilen güç değişimleri verilmiştir.



Şekil 8. MPPT'siz PV sisteminin güç değişimi



Şekil 9. MPPT'li PV sisteminin güç değişimi

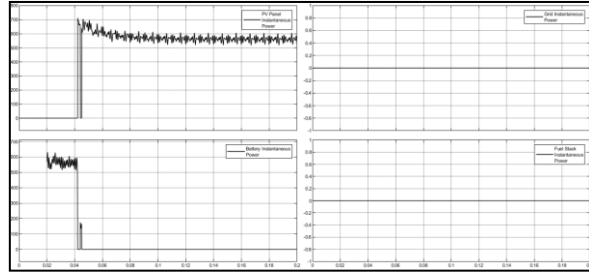
Elde edilen veriler incelendiğinde 650 W/m^2 ışınım değerinde 0,2 anında MPPT etkisi yok iken 356,4 W, MPPT etkisi var iken 379,8 W güç ölçülmüştür.

Sonuçlar incelendiğinde 50 W/m^2 'lik ışınım miktarı artışında her iki durumdaki çıkış güçleri arasındaki farka baktığımızda 600 W/m^2 ışınım durumunda 3 W, 650 W/m^2 ışınım durumunda ise 23,4 W'lık bir fark bulunmaktadır. MPPT kullanıldığında ışınım miktarı arttıkça verimde, MPPT kullanılmayan duruma göre artış görülmektedir.

MPPT yapısının bu tarz üretim sistemlerinde kullanılması talep edilen gücün karşılanması açısından önem arz etmektedir. MPPT kontrol yapısı, panelin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayarak sistemin verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. MPPT kullanımıyla panelin daha verimli şekilde kullanılmasını sağlamak daha az panel kullanımıyla maliyetin de düşürülebileceği görülmektedir.

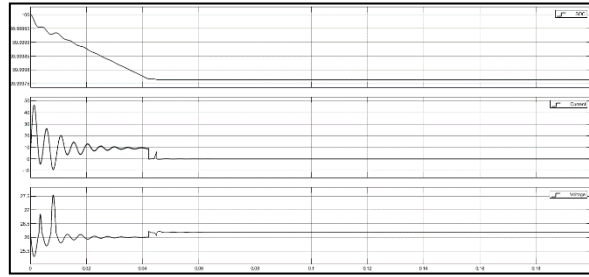
Enerji Yönetimi Algoritması

Sistemde Senaryo 1'in işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında 560 W'lık talebin panel tarafından karşılandığı Şekil 10'da görülmektedir.



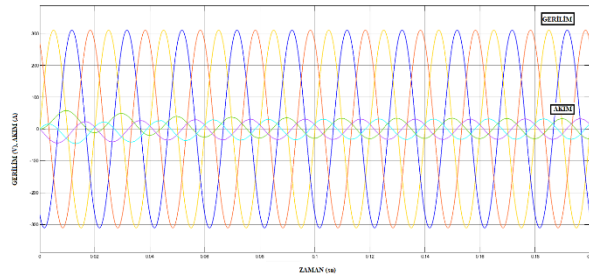
Şekil 10. Kaynakların 1. senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Artan gücün kullanımı için durum kontrolü yapıldığında bataryanın dolu olduğu Şekil 11’de görülmektedir.



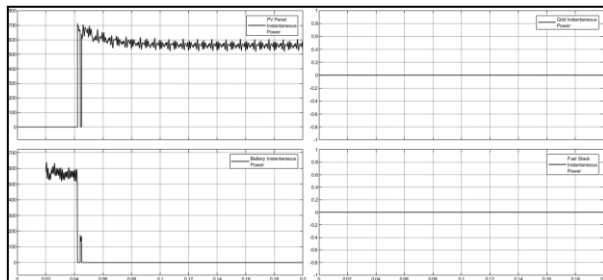
Şekil 11. Senaryo 1 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Artan güç bataryada da kullanılmadığı için Şekil 12’de gösterildiği gibi şebekeye satılmıştır.



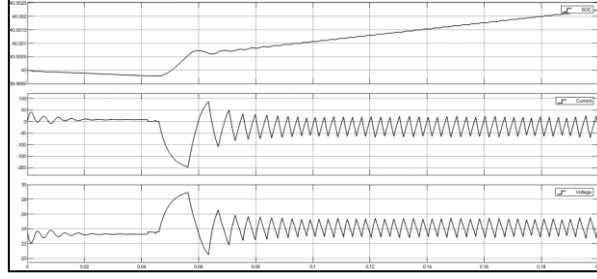
Şekil 12. Şebekeye satış

Sistemde Senaryo 2’nin işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında 560 W’lık talebin panel tarafından karşılandığı Şekil 13’te görülmektedir.



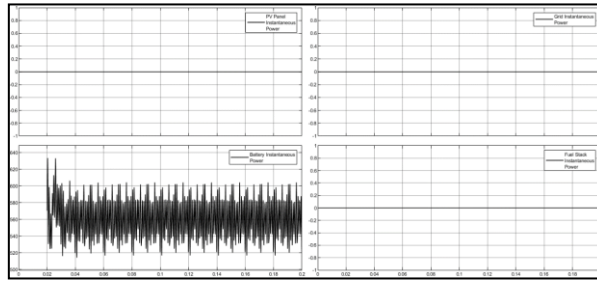
Şekil 13. Kaynakların 2. senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Durum kontrolü yapıldığında batarya boş olduğu için artan gücün batarya şarjında kullanıldığı Şekil 14’te görülmektedir.



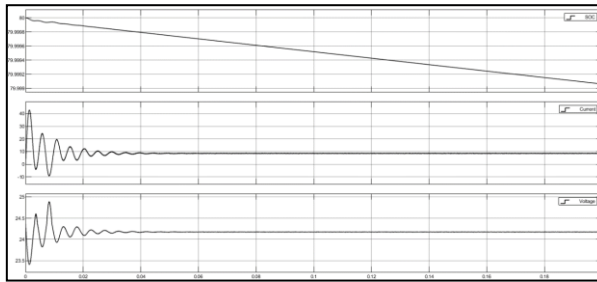
Şekil 14. Senaryo 2 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Sistemde Senaryo 3'ün işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında panelin ürettiği güç yeterli gelmediği ve batarya dolu olduğu için 560 W'lık talebin batarya tarafından karşılandığı Şekil 15'te görülmektedir.



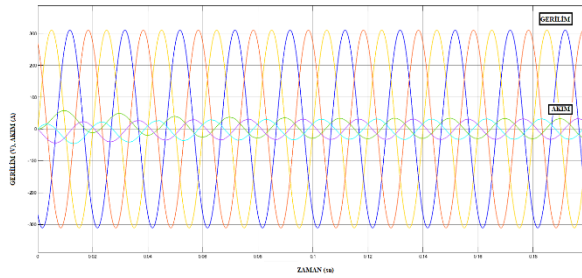
Şekil 15. Kaynakların 3.senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Talep, batarya tarafından karşılandığı için Şekil 16'da batarya deşarj durumu görülmektedir.



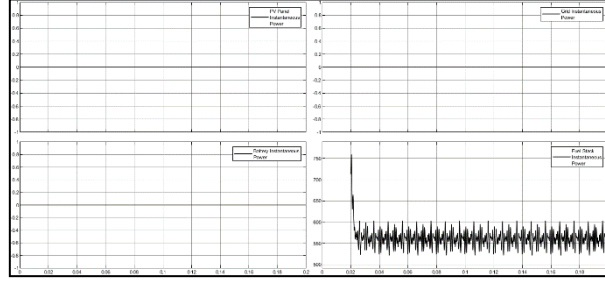
Şekil 16. Senaryo 3 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Panelin ürettiği gücün ise şebekeye satıldığı Şekil 17'de gösterilmiştir.



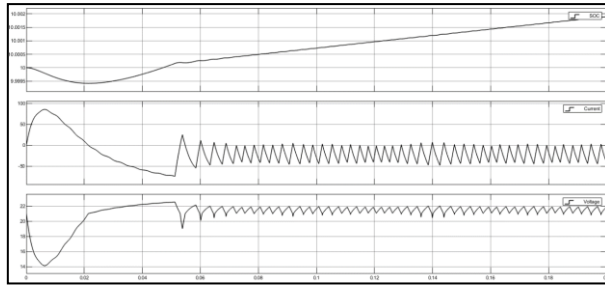
Şekil 17. Şebekeye satış

Sistemde Senaryo 4'ün işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında panelin ürettiği güç yeterli gelmediği, batarya boş olduğu için 560 W'lık talebin yakıt hücresi tarafından karşılandığı Şekil 18'de görülmektedir.



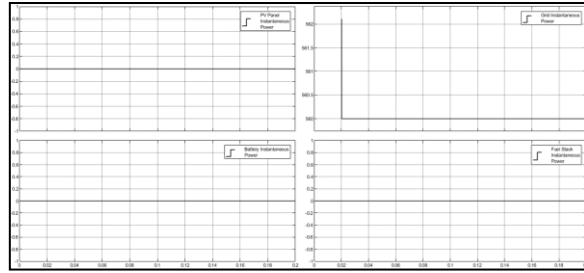
Şekil 18. Kaynakların 4.senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Panelin ürettiği gücün ise batarya şarjında kullanıldığı Şekil 19'da gösterilmiştir.



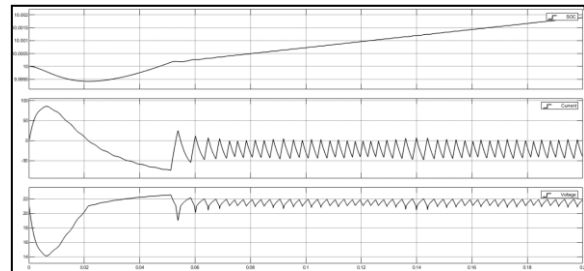
Şekil 19. Senaryo 4 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Sistemde Senaryo 5'in işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında panelin ürettiği gücün yeterli gelmediği, bataryanın boş olduğu ve hidrojen miktarı yeterli gelmediği için 560 W'lık talebin şebeke tarafından karşılandığı Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Kaynakların 5.senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Panelin ürettiği gücün ise batarya şarjında kullanıldığı Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21. Senaryo 5 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Enerji yönetim stratejisi sayesinde senaryolarla belirlenen durumların planlandığı şekilde işletildiği ve bu sayede enerjinin verimli bir şekilde yönlendirilmesiyle kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç

Yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin kullanımının dışında bu sistemlerden maksimum oranda fayda sağlanabilmesi için sistemlerin olabildiğince verimlerinin artırılması gerekmektedir. Kaynağı güneş olan PV sistemlerde kullanılan MPPT, sistemin enerji verimini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. MPPT'de kullanılacak yöntemin de doğru seçilmesi önem arz etmektedir. Bunun yanında sistemde enerji yönetim stratejisinin kullanılması sadece üretilen enerjide değil kullanılacak enerjinin de verimli bir şekilde yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada MATLAB/Simulink ortamında PV sistem tasarımı yapılmış, sabit sıcaklık ve değişken ışınım değerleriyle çalıştırılarak güç değerleri ölçülmüştür. Panel verimini etkileyen unsurlardan biri olan MPPT kullanımının etkisi incelenmiş ve sistem için belirlenen senaryolar işletilerek enerji yönetimi gözlemlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre PV sistemlerde maksimum güç noktası takibi sağlandığında sistemin enerji üretiminde veriminin arttığı ve üretilen enerjinin senaryolara göre yönlendirilmesiyle sadece enerji üretiminde değil kullanımında da verimliliğinin sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Bu sayede tasarlanan sistemin maksimum verimle kullanılması, daha az panel ile talep edilen gücü karşılayacağı ve yatırım maliyetlerinin düşürülebileceği, her anlamda enerji verimliliği sağlanabileceği sonuçları ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma, devamında yapılacak çalışmalara yön verilmesini, üretilecek gücün günlük verilerle saptanarak enerji yönetimini ve yeni çalışmaların yapılmasını mümkün kılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmayı yapmamızda desteğini esirgemeyen Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümüne teşekkür ederiz.

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

Ayserim MA., Ay S. Maksimum güç noktası izleyicisinde kullanılan artan iletkenlik algoritmasının FPGA tabanlı gerçekleştirilmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi 2019; 10(1): 113-120.

Capehart BL., Kennedy WJ., Turner WC. Guide to energy management. 5th ed. New York: River Publishers; 2016.

- Chaichan MT., Mohammed BA., Kazem HA. Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2015; 6(4): 594-601.
- Deveci O., Kasnakoglu C. Bir fotovoltaiik sistemden değişken güneş ışınım değerlerinde maksimum güç ve sabit DA gerilim elde edilebilmesine yönelik DA/DA dönüştürücü ve kontrolcü tasarımı. TOK 2014, 11-13 Eylül 2014, sayfa no: 187–193, Kocaeli.
- Hashim N., Salam Z., Johari D., Ismail NFN. DC-DC boost converter design for fast and accurate MPPT algorithms in stand-alone photovoltaic system. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)* 2018; 9(3): 1038-1050.
- Khadidja S., Mountassar M., M'hamed B. Comparative study of incremental conductance and perturb & observe MPPT methods for photovoltaic system. 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS) 2017, 23-25 March 2017, Tunisia.
- Khatib TT., Mohamed A., Amin N., Sopian K. An efficient maximum power point tracking controller for photovoltaic systems using new boost converter design and improved control algorithm. *WSEAS Transactions on Power Systems* 2010; 5(2): 53-63.
- Leitão J., Gil P., Ribeiro B., Cardoso A. A survey on home energy management. *IEEE Access* 2020; 8(12): 5699-5722.
- Mousazadeh H., Keyhan A., Javadi A., Mobli H. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009; 13: 1800-1818.
- Olatomiwa L., Mekhilef S., Ismail MS., Moghavvemi M. Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 62: 821-835.
- Özçelik MA. Fotovoltaiik sistemlerde verim ve performansın arttırılmasına yönelik maksimum güç noktası izleyicisi tasarımı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2015.
- Panwar S., Saini RP. Development and simulation of solar photovoltaic model using MATLAB/simulink and its parameter extraction. *International Conference on Computing and Control Engineering (ICCCE)*, 12-13 April 2012, pp: 2-5, India.
- Reisi AR., Moradi HM., Jamasb S. Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 19: 433-443.
- Ullah K., Wang Y., Zaman A., Imtiaz HH., Ahmad SM., Kumar B. Maximum power point technique (MPPT) for PV system based on improved pert and observe (P&O) method with PI controller. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2019; 6(12): 813-819.

Türkiye'de Kimyasal Gübre İkamesinde Biyogübre Kullanımının Tahmini Kazanımları

Mehmet Emin BİLGİLİ^{1*}, Hatice HIZLI²

^{1,2} Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 01170, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-4191-0540>

²<https://orcid.org/0000-0002-5451-1397>

*Sorumlu yazar: eminbilgili@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 05.08.2021

Kabul tarihi: 06.12.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Biyogübre

Kimyasal gübre

Yenilenebilir enerji

Veri analizi

Türkiye

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye'de 2002-2020 yılları arasında nüfus durumu, tarım alanları, tüketilen kimyasal gübre miktarı verileri ve sığır sayıları kullanılarak; sığır gübresinin biyogazda kullanılmasıyla elde edilebilecek elektrik enerjisi ve kimyasal gübre ikamesinde biyogübre kazanımları tartışılmıştır. Çalışmada Tarım ve Orman Bakanlığı, Türkiye İstatistik Kurumu, Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası verileri ve literatürden yararlanılmıştır. Tarım arazilerinin yıllara göre ortalama ve standart sapma cinsinden dağılımı ($24\,490\,105 \pm 1\,203\,002$) ha, tüketilen kimyasal gübre ($5\,352\,716 \pm 600\,762$) ton ve Azot ile Fosfor içeren biyogübre toplamı ($434\,826 \pm 90\,520$) ton olarak hesaplanmış ve değişim ilişkisi regresyon denklemleri ve R^2 değerleri gösterilmiştir. Ayrıca kimyasal gübrenin %40'ının ithal edildiği ve bu miktarın %20'sinin biyogübre ikamesi ile karşılanabileceği tahmin edilmiştir. Türkiye'deki uzun yıllık ortalamalara göre biyogazdan üretilebilen elektrik enerjisinin %6 kayıp miktarına rağmen ülkedeki elektrik enerjisi tüketiminin %5'ini karşılama potansiyeline sahip olduğu hesaplanmıştır. Biyogübre, tarımsal ürün artışına faydaları yanında toprakta organik madde katkısı da sağlayabilmektedir. Biyogazdan biyogübre elde etme miktarı tesisten tarım alanına kadarki süreçte %1 katı miktar kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kırsal alanlardaki, çevresel kirlilik sorunu biyogübre üretimi ile çözülebilir. Ekonomik anlamda faydaları ise yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütleden (hayvansal atıklar) biyogübre ve enerji kazanımı şeklinde sıralanabilir. Bu bağlamda, konu çalışanlarına ve karar vericilere veri tabanı olarak sunulabilir. Sonuç olarak biyogübrenin ithal kimyasal gübre ikamesi ile enerji, ekonomi ve ekoloji açısından kazanımlarının tahminleri istatistiksel olarak gösterilmiştir.

Estimated on Gains by the Use of Bio-fertilizers Instead of Chemical Fertilizer in Turkey

Research Article

Article History:

Received: 05.08.2021

Accepted: 06.12.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Biofertilizer

Chemical fertilizer

Renewable energy

Data analysis

Turkey

ABSTRACT

In this study, using the population status, agricultural areas, consumed chemical fertilizer data and the number of cattle, between the years 2002-2020 in Turkey; The electrical energy that can be obtained by using of cattle manure in biogas and the biofertilizer gains in chemical fertilizer substitution are discussed. In the study, data from the Ministry of Agriculture and Forestry, Turkish Statistical Institute, Biomass Energy Potential Atlas and literature were used. The distribution of agricultural lands in terms of average and standard deviation over the years was calculated as ($24\,490\,105 \pm 1\,203\,002$) ha, chemical fertilizer consumed ($5\,352\,716 \pm 600\,762$) tons, and the sum of nitrogen and phosphorus-containing biofertilizers ($434\,826 \pm 90\,520$) tons. and the change relationship regression equations and R^2 values are shown. It has also been estimated that 40% of the chemical fertilizer is imported and 20% of this amount can be met by biofertilizer substitution. According to long annual averages in Turkey, it has been calculated that the electrical energy that can be

produced from biogas has the potential to meet 5% of the electrical energy consumption in the country, despite the 6% loss amount. In addition to the benefits of biofertilizer to increase agricultural products, it can contribute to organic matter in the soil. The amount of biofertilizer obtained from biogas was calculated by taking into account the 1% solid amount loss in the process from the plant to the agricultural field. In rural areas, the problem can be solved with biofertilizer production in terms of environmental pollution. In economic terms, benefits such as biofertilizer and energy recovery from biomass, which is one of the renewable energy sources (animal waste), can be listed. In this context, the subject can be presented to employees and decision makers as a database. As a result, the estimations of the gains in terms of energy, economy and ecology with imported chemical fertilizer substitution of biofertilizer were shown statistically.

To Cite: Bilgili E., Hızlı H. Türkiye'de Kimyasal Gübre İkamesinde Biyogübre Kullanımının Tahmini Kazanımları. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):92-102.

Giriş

Türkiye'de nüfus artış hızının aksine daralan tarım alanlarından beslenme ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla, kimyasal gübreler kullanılmaktadır. Bu gübrelerin üretim sürecindeki enerji tüketimleri, CO₂ emisyonları, ithalat ve finansal kısıtlar alternatif gübre kullanımı ile ilgili birçok araştırmaya neden olmaktadır. Küresel enerji talebi, ekonomik büyüme nedeniyle teknoloji ve demografik gelişmelerden dolayı globalde olduğu gibi Türkiye'de de artmaktadır (Yüksel, 2010; Karayılmazlar ve ark., 2011; Yılmaz 2012; Koç, 2013). Türkiye kullandığı enerjinin 3/4'lük bölümünü ithal etmektedir. Bu nedenle, yakın gelecek için oluşturulmuş enerji üretim ve tüketim planlamalarına göre, gelecekteki on yıla kadar üretimde ve tüketimde hızlı bir artış beklenmektedir (Aybek ve ark., 2015).

Biyokütleden odun briketi ve başka yakıt türleri, biyogaz, bioetanol ve biyodizel elde edilmektedir (Kapluhan, 2014). Biyokütle kaynaklarından biyogaz üretmek, direkt yakma dışında en basit ve etkili yöntem olarak birçok ülkede uygulanmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucunda atık olarak geriye kalan bitkiler, insanların evsel organik atıkları, hayvan gübreleri, gıda sanayisinden elde edilen melas ve meyve posaları, arıtma artıkları, kâğıt sanayisi atıkları ve mezbahane atıkları ile organik maddelerin (OM), havasız bir ortamda biyokimyasal dönüşümler neticesinde bakteriler tarafından parçalanmasıyla, bileşiminde metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), hidrojen sülfür (H₂S), amonyak (NH₃), azot (N), hidrojen (H₂) ve su buharı bulunan biyogaz elde edilir (Akova, 2008). Biyogaz, anaerobic madde bozunmasının bir ürünü olarak oluşur ve içeriğinde, OM'ye bağlı olarak, %60-75 CH₄, %23-38 CO₂, %2 H₂ ve %2 H₂S bulunan bir gaz karışımıdır. Optimal koşulların oluşumu, OM fermantasyonunun gelişimine sebep olan mikroorganizmaları meydana getirir. Fermantasyon iki evrede gelişir. Birincisi, Clostridium sp. aktivitesi tarafından uçucu yağ asitlerinin nitelendirilmesi, ikinci evre ise Methanobacterium sp. ve Methanosarcina sp. aktivitesi tarafından CH₄'ün yıkılmasıdır. Etkenler anaerobic fermantasyonun normal akışından sorumludur ve biyogaz oluşum süreci, pH düzeyi, OM, uçucu yağ asitlerinin oranı, sıcaklık, alkalilik, besleyici ve zararlı maddelerini izlemektedir (Bukvic ve ark., 2002). Biyogazdan elde edilebilen biyogübrenin birçok zararlı faktörden arındırıldığı bilinmektedir. Ancak, yine de tarımsal aktivitelerde analizler sonrası güvenle kullanılabilir.

Biyogübre, tarımsal üretim artışına faydalarının yanısıra toprakta organik madde katkısı sağlamaktadır. Biyogazdan biyogübre elde etme miktarı hesaplanırken tesisten tarım alanına kadarki süreçte %1 katı miktar kaybı dikkate alınmaktadır. Kırsal alanlardaki çevresel kirlilik sorunu biyogübre üretimi ile çözülebilir. Ekonomik anlamda faydaları ise yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütleden (hayvansal atıklar) biyogübre ve enerji kazanımı şeklinde sıralanabilir. Bu bağlamda, konu çalışanlarına ve karar vericilere veri tabanı olarak sunulabilir.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA) ve önceki çalışmalar birincil veriler olarak kullanılmış olup ikincil veriler olarak da teknik hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, uzun dönemde (2002-2020) tahminleme yapabilmek için konu ile ilgili son 19 yıllık veriler materyal olarak kullanılmıştır.

Çalışmada, Tablo 1'deki verilerden faydalanılmıştır. Değerlendirmeler üç aşamada yapılmıştır. İlk aşamada, uzun dönemde kullanılan tarım alanları (ha/yıl), tarım alanlarına uygulanan kimyevi gübre miktarı (ton/yıl), ithal edilen gübre miktarı (ton/yıl) ve ortalama yıllık tüketilen elektrik enerjisi miktarı (MWh/yıl) ilgili kurumların verilerinden derlenmiştir. İkinci aşamada, büyükbaş hayvanların (sığır)'dan elde edilebilecek gübre miktarı (ton/yıl) teknik potansiyel olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Türkiye'de biyogübrede kimyevi gübre ikamesi ve enerji kazanımları (2002-2020)

Yıllar	Nüfus x10 ³	Tarım Alanları (ha) x10 ³	Kimyevi Gübre Tüketim (ton/yıl) x10 ³	%40 İthal Kimyevi Gübre (ton/yıl) x10 ³	Sığır Sayısı (Adet) x10 ³	Biyogazdan Biyogübre Eldesi (ton/yıl)	İthalata İkame Gübre Kazancı (%)	Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl) x10 ⁶	Enerji Karşılama (MWh) (%)
2002	66 402	26 579	4 529	1 812	9 803	327 692	18	1 747	3,6
2003	67 187	26 027	5 094	2 037	9 788	327 180	16	1 744	3,6
2004	68 010	26 593	5 175	2 070	10 069	336 578	16	1 794	3,7
2005	68 861	26 606	5 199	2 080	10 526	351 857	17	1 876	3,8
2006	69 730	25 876	5 367	2 147	10 871	363 386	17	1 937	4,0
2007	70 586	24 887	5 148	2 059	11 037	368 915	18	1 967	4,0
2008	71 517	24 505	4 129	1 652	10 860	363 004	22	1 935	4,0
2009	72 561	24 295	5 276	2 110	10 724	358 459	17	1 911	3,9
2010	73 723	24 394	4 968	1 987	11 370	380 047	19	2 026	4,1
2011	74 724	23 614	4 766	1 907	12 386	414 026	22	2 207	4,5
2012	75 627	23 782	5 340	2 136	13 915	465 120	22	2 480	5,1
2013	76 668	23 806	5 814	2 325	14 415	481 844	21	2 569	5,3
2014	77 696	23 941	5 472	2 189	14 223	475 422	22	2 535	5,2
2015	78 741	23 934	5 508	2 203	13 994	467 766	21	2 494	5,1
2016	79 815	23 711	6 732	2 693	14 080	470 643	17	2 509	5,1
2017	80 811	23 347	6 333	2 533	15 944	532 930	21	2 841	5,8
2018	82 004	23 180	5 412	2 165	17 043	569 663	26	3 037	6,2
2019	83 155	23 099	6 088	2 435	17 688	591 244	24	3 152	6,5
2020	83 614	23 136	7 143	2 857	18 426	615 915	22	3 284	6,7

Son aşamada ise sığır gübresinden elde edilebilecek teknik biyogaz miktarı (m³/yıl), biyogazdan elde edilebilecek kimyevi gübre ikamesi olarak, biyogübre miktarı (ton/yıl), biyogübrenin kimyevi gübre

ithalatının % olarak karşılama oranı hesaplanmıştır. Son olarak da Türkiye'nin uzun yıllık elektrik enerji tüketiminin aritmetik ortalamasına göre biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı oransal olarak hesaplanmıştır.

Biyogaz potansiyelini ve diğer çıktıları hesaplamak için 2.1-2.7 nolu eşitlikler kullanılmıştır. Ayrıca ikame biyogübre, ikame enerji miktarı ve diğer kazanımların belirlenmesi bu kapsamdaki yöntemlerle hesaplanmıştır. Hayvanlardan yıllık olarak elde edilebilecek toplam yaş gübre miktarı Eşitlik 2.1 ile hesaplanmıştır.

$$YGM = HGM.HS.360 \quad (2.1)$$

Burada, YGM, bir yılda hayvanlar tarafından üretilebilecek toplam gübre miktar (kg/yıl), HGM, bir hayvanın bir yılda üretebileceği gübre miktarı (kg/yıl-hayvan) ve HS ise hayvan sayısıdır. Buradaki, 360 ise bir yılın gün katsayısıdır. Yıllık toplam faydalanılabilir yaş gübre miktarı ise hayvanların barınakta kalma süreleri göz önüne alınarak, Eşitlik 2.2 ile hesaplanmıştır.

$$FYGM = YGM.TO \quad (2.2)$$

Burada, FYGM, hayvanlar tarafından üretilebilen yıllık toplanabilir faydalı toplam yaş gübre miktarı (kg/yıl) ve TO, toplanabilir faydalı gübre oranı (%)'dir.

Üretilen yaş gübre içerisindeki katı madde miktarı 2.3 nolu eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$KMM = FYGM.KM \quad (2.3)$$

Burada, KMM, hayvanlar tarafından üretilen yıllık toplanabilir faydalı gübre içerisindeki toplam katı madde miktarı (kg/yıl), KM ise yaş gübre içerisindeki katı madde oranı (%)'dir. Katı madde içerisindeki uçucu katı madde miktarı Eşitlik 2.4 ile hesaplanmıştır.

$$UKMM = KMM.UKMO \quad (2.4)$$

Burada, UKMM, hayvanlar tarafından üretilen yaş gübre içerisindeki yıllık toplam uçucu katı madde miktarı (kg/yıl), UKMO ise katı madde miktarı içerisindeki uçucu katı madde oranı (%)'dir. Metan miktarının yıllık toplamı Eşitlik 2,5 ile hesaplanmıştır.

$$GMETAN = UKMM.MO \quad (2.5)$$

GMETAN, materyal olarak toplanabilir potansiyel gübreden elde edilebilecek toplam yıllık metan miktarı ($m^3 CH_4/yıl$), MO 1 kg UKMO'den üretilen metan miktarıdır. %60 metan içeren biyogazın enerji değeri $22,7 MJ/Nm^3$ ve bu bağlamda metan gazının enerji denkliği $36 MJ/Nm^3$ olarak alınarak hayvanlardan üretilen yıllık toplam biyogazın enerji potansiyeli hesaplanabilmektedir (Görmüş 2018). Metan gazından üretilebilecek enerji miktarı Eşitlik 2.6 ile hesaplanmıştır.

$$Q_e = GMETAN.METAN_{ısı} \quad (2.6)$$

Burada, Q_e , yıllık üretilecek metanın enerji denkliği (MJ/yıl) ve METAN_ısıl metan gazının ısı içeriği olup 36 MJ/m^3 olarak alınmıştır. Metan gazı bir kojenerasyon tip kombine ısı ve güç üretimi (Combined Heat and Power (CHP)) motorunda yakılması sonucu elektrik üretilmesi ile elde edilecek elektrik enerjisi miktarı Eşitlik 2.7 ile belirlenmiştir.

$$E_e = G_{\text{METAN}} \cdot \eta_e \cdot W \quad (2.7)$$

Burada, E_e CHP motorunun yıllık elektrik üretimi (MWh/yıl), η_e CHP motorunun elektriksel verimi (%35 alınarak) ve W Metan gazının kWh olarak enerji denkliği olup 10 kWh/m^3 olarak hesaplamalarda kullanılmıştır (Yağlı ve ark., 2019).

Büyükbaş hayvanlar için gübre miktarı olarak Tablo 2'deki veriler derlenmiştir. Ortalama 15 kg/gün -hayvan olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Hayvansal gübrelerin fiziksel özellikleri (Avcıoğlu ve ark., 2012; Bilgili 2020)

Hayvan türü	Vücut ağırlığı (kg)	Yaş atık miktarı			
		Ağırlık		Katkı içerik (%)	Atık verisi (kg/gün)
		Katkı içerik (%)	Katkı içerik (kg/gün)		
Sığır	135-800	5-6	10-30	5-25	15

Biyogazdan elde edilebilecek kimyevi gübre ikamesi olarak, biyogübre miktarı (ton/yıl), sığır gübresindeki makro elementlerden N miktarının 4.56 (kg/ton) ve 1.63 kg/ton P değerleri dikkate alınarak (Brady, 1990; Sefeepari ve ark., 2020), yapılan hesaplamada Eşitlik 2.8-2.10 ile kimyevi gübre ikamesi biyogübre miktarı belirlenmiştir.

$$\dot{I}BGM_N = KMM \cdot 4,56 \quad (2.8)$$

$$\dot{I}BGM_P = KMM \cdot 1,63 \quad (2.9)$$

$$\dot{I}BGM_T = \dot{I}BGM_N + \dot{I}BGM_P \quad (2.10)$$

Burada, $\dot{I}BGM_N$, ikame biyogübre N miktarı (kg) $\dot{I}BGM_P$, ikame biyogübre P miktarı (kg) ve $\dot{I}BGM_T$, toplam ikame biyogübre miktarı (kg)'dir.

Biyogübrenin kimyevi gübre ithalatının yıllık % olarak karşılama oranın belirlenmesi amacıyla ithal edilen kimyevi gübre ile $\dot{I}BGM_T$ değeri oranlanarak sonuç elde edilmiştir.

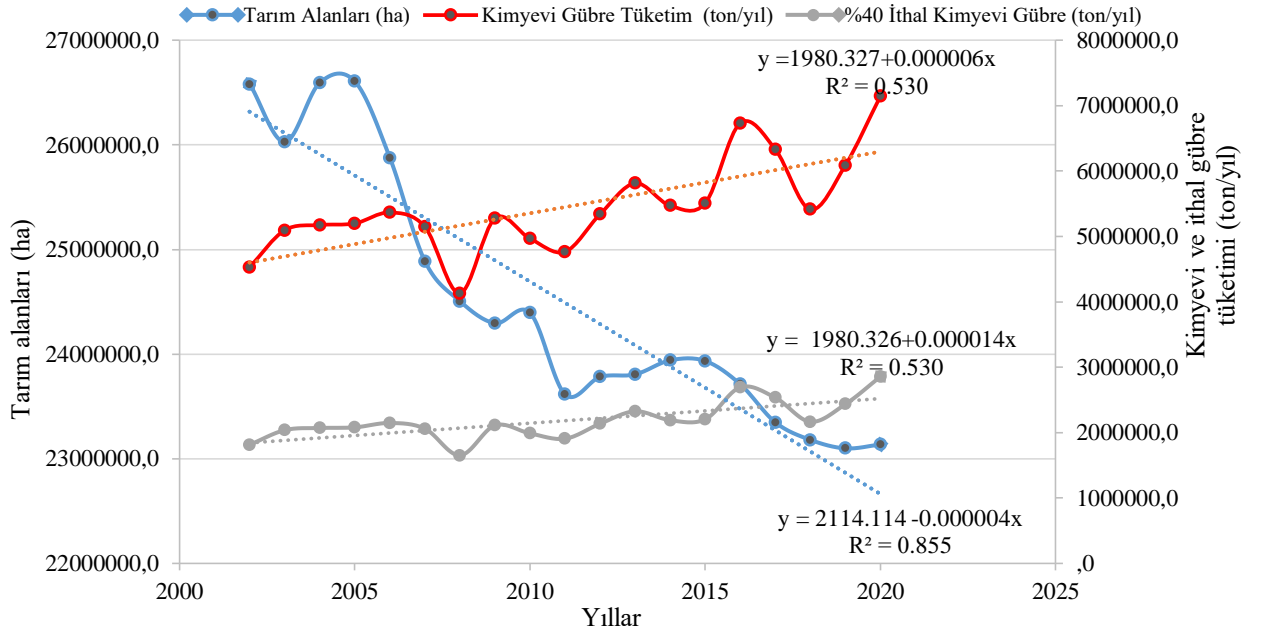
Bir ton büyükbaş hayvan gübresinden 33 m^3 biyogaz elde edilebileceği belirtilmiştir (EİE 2019; Yetiş ve ark., 2019). Biyogazın elektrik enerjisi olarak eşdeğerinin kabulü ise; (Akbulut ve Dikici, 2004; EİE, 2019)'ye göre " 1 m^3 biyogazın elektrik eşdeğeri 4.70 kWh 'dir" (Akbulut ve Dikici, 2004). Türkiye'nin 2019 yılında faturalandırılan elektrik enerjisi tüketimi $229 \ 597 \ 914 \text{ MWh/yıl}$ olarak belirlenmiştir (EPDK, 2019). Türkiye'nin uzun yıllık elektrik enerji tüketiminin aritmetik ortalamasına göre biyogazdan kayıplardan sonra elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı oransal olarak

hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, uzun yıllara göre istatistiksel olarak yorumlanarak tahmin edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Türkiye’de son 19 yıl içinde artan nüfusu beslemek ve azalan tarım alanlarından ihtiyaç duyulan ürünü elde etmek amacıyla büyükbaş hayvan gübresini etkin bir şekilde yönetmenin sonucunda tarımsal-kırsal alanlara, çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabilir (Tablo 1). Bu bağlamda, biyoenerji üretimi sonucunda, elektrik, ısı ve biyogübre üreterek bir gübre yönetimi olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, politika yapıcılarını bir bölgeye biyogübre dağıtımının gerçekleştirilmesi, yenilenebilir enerji seçeneklerinin araştırılması ve planlanmasını destekleyebilirler. Covid-19 krizi zamanında, hayvancılık sektörünün önemli rol oynadığı bağışıklık sisteminde, güçlü ve dayanıklı gıda sağlayan sektörler için yapısal kararların alınması kritik önem taşımaktadır.

Türkiye’de son 19 yıl içinde yıllara bağlı olarak; mevcut tarım alanlarının giderek daraldığı ($y = 2114.114 - 0.000004x$ ve $R^2 = 0.855$) ve bu alanlara uygulanan kimyevi gübre ($y = 1980.327 + 0.000006x$ ve $R^2 = 0.530$) ile ithal edilen kimyevi gübre ($y = 1980.326 + 0.000014x$ ve $R^2 = 0.530$) miktarlarında ise artış olduğu yapılan regresyon analizi ile tahmin edilmiş ve değişim Şekil 1’deki grafik ile verilmiştir.



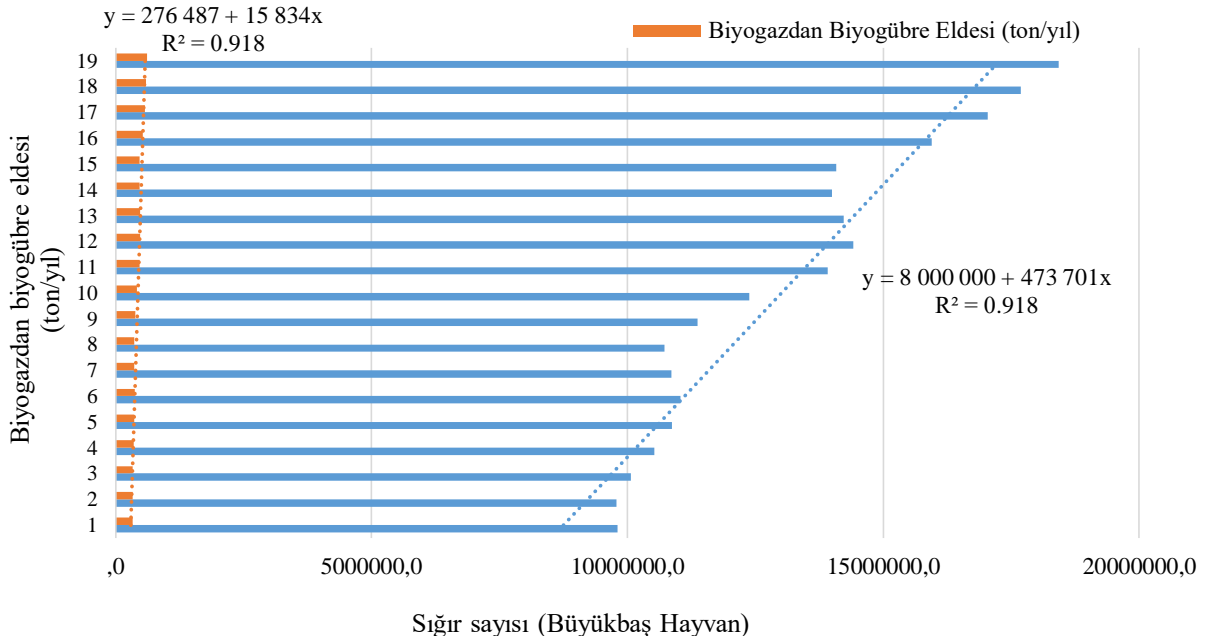
Şekil 1. Türkiye’de tarım alanları ile kullanılan kimyevi gübre ve ithal gübre (2002-2020) durumu

Türkiye’de, sığırlardan elde edilebilen gübre, 19 yılın ortalamasına göre yıllık 70 Tg (teragram) üretilmektedir. Hayvanların beslenme durumları, ahır gübresinin bileşimini etkileyen bir etkidir. Genellikle, hayvan beslemede verilen yemlerdeki organik maddenin ve azotun %50’si, fosforun %60’ı, potasyumun %70’i dışarı atılmaktadır (Zabunoğlu ve Karaçal, 1986). Topraklarda, yüksek oranda N uygulanan alanlarda, azaltma çözümleri aranmalıdır. Aksi durumda, çevre sorunları

oluşabilir. Ahır gübresindeki azotun bitkilerce alınabilir kısmının tamamına yakını topraktan 1 yıl sonra, fosfor için 10 yıl ve potasyum için 5 yıl civarındadır (Tisdale ve ark., 1995).

Gübreinin biyoenerji üretimi yoluyla geri dönüşümü sürecinde, yüksek gübre üretimine sahip bölgelerde, katı ve sıvı fraksiyonlara ayrılmasıyla birlikte güçlendirilmeli, bunun üzerine sızıntı veya gaz emisyonları yoluyla hiçbir besin kaybı olmamalıdır. Çevresel problemler, emisyonlar ve önlenen maliyetler aracılığıyla biyoenerji üretiminin çevresel ve ekonomik katma değeri için büyük bir potansiyel göstermektedir (Sabuncu, 2010).

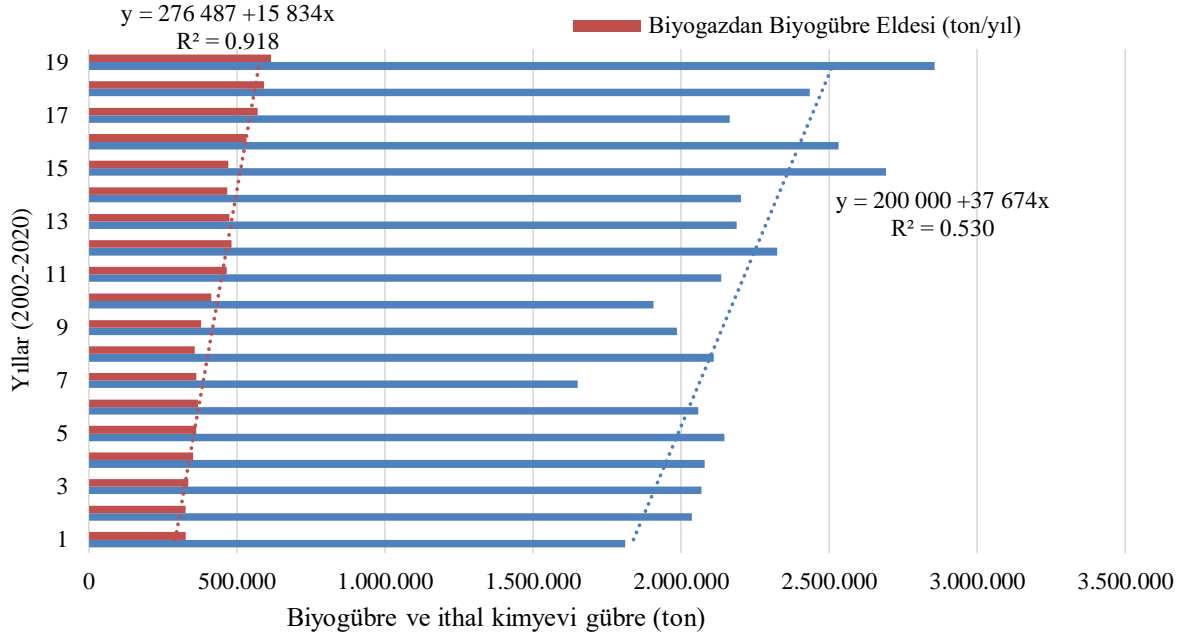
TÜİK, 2002-2020 arası verilerine göre sığır sayılarının 2 katı arttığı ($y = 8\,000\,000 + 473\,701x$ ve $R^2 = 0.918$) ve bu potansiyelden elde edilebilecek biyogaz amaçlı gübre miktarlarında da artış olduğu ($y = 276\,487 + 15\,834x$ ve $R^2 = 0.918$) Şekil 2'deki grafik ile verilmiştir.



Şekil 2. Sığır sayısına bağlı olarak biyogazdan biyogübre elde edilmesi (2002-2020) durumu

Türkiye genelinde toprakların verim kapasitelerinin bazı parametrelere bağlı olarak zayıf olduğu görülmektedir. Buna sebep olarak toprakların, organik maddesinin ve havalanmasının yetersiz, azot ve fosfor içeriğinin düşük, su tutma kapasitesinin az ve ağır bünyeli olması gösterilebilir. Bu nedenle, Türkiye topraklarında başarılı bir organik bitkisel üretim yapabilmek için 2-3 ton/da ahır gübresinin uygulanması verimi yüksek ve kaliteli bitkisel üretim için büyük faydalar sağlayabilecektir (Kızılgöz, 2012). Çalışmada yapılan tahminlere göre Türkiye'deki tüm tarım alanlarına 290 kg/da-yıl biyogübre uygulanabilir.

Türkiye'de 2002-2020 yılları içinde biyogazdan elde edilebilecek biyogübre miktarı ($y = 276\,487 + 15\,834x$ ve $R^2 = 0.918$) ile ithal edilen kimyevi gübre miktarlarındaki değişimler ($y = 200\,000 + 37\,674x$ ve $R^2 = 0.530$) Şekil 3'teki grafik ile verilmiştir.

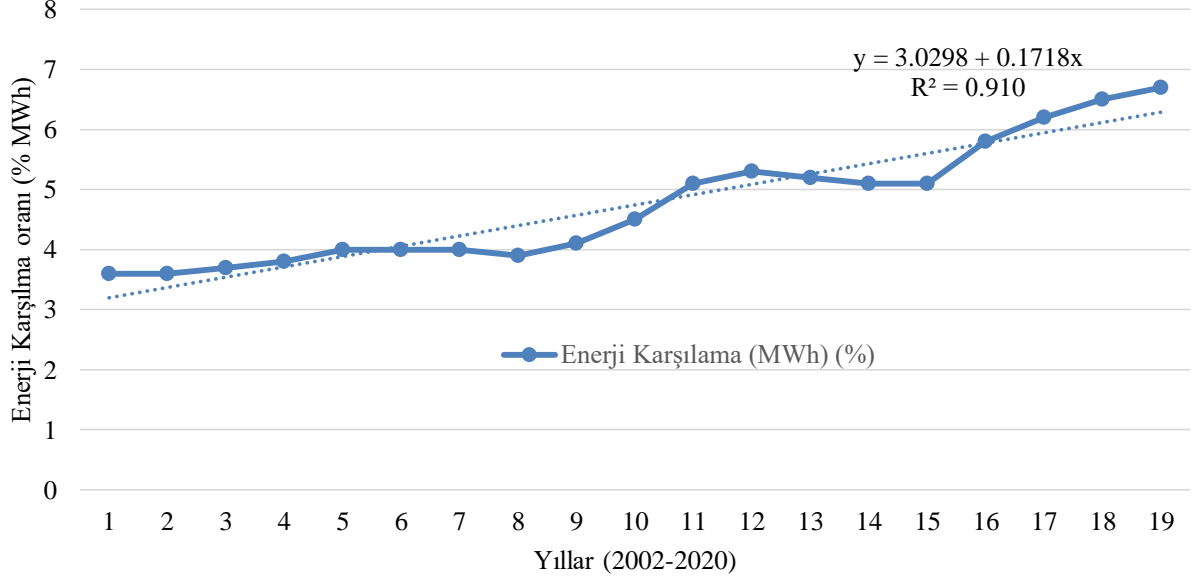


Şekil 3. Türkiye’de 2002-2020 yılları arası ithal kimyevi gübre ile biyogazdan ikame biyogübre durumu

Biyogaz tesisinde üretilen toplam biyogazın %6.3’ü kayıp ve kaçak miktarı olarak kabul edilmiştir (Murphy ve ark., 2004; Murphy ve ark., 2009).

Çevresel fayda bakımından, biyokütle atıklardan oluşan CH₄’ün yakılmaması durumunda 1 m³ depo gazı atmosfere yayıldığında, 9.19 kgCO₂/m³ oluşması beklenmektedir. 1 m³ biyogaz yakıldığında ise 1.96 kgCO₂/m³ oluşur (Sabuncu, 2010).

Biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisinin sığır sayısına bağlı olarak 19 yıl içinde yaklaşık %100 artış gösterdiği, yıllara bağlı olarak enerji karşılama oranı modeli $y = 3.0298 + 0.1718x$ ve $R^2 = 0.910$ olarak tahminlenmiştir. Türkiye’de son 19 yıl içinde biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisinin ülke elektrik enerjisi karşılama oranı (%) Şekil 4’deki grafik ile verilmiştir (Aybek ve ark., 2015; Dağtekin ve ark., 2019).



Şekil 4. Türkiye’de 2002-2020 yılları Biyogazdan elektrik enerjisi karşılama durumu (% MWh)

Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye’de son 19 yılın Tarım ve Orman Bakanlığı, TÜİK, BEPA 2020 ve literatür verileri kullanılmıştır. Türkiye nüfusu, tarımsal alanlar ve kimyasal gübre verilerinden yararlanılarak, sığır gübresinin biyogazda kullanılmasıyla elde edilebilecek biyogübrenin kimyasal gübre yerine ikamesi ve diğer kazanımlar tartışılmıştır. Sonuç olarak, biyogübrenin ithal kimyasal gübre ikamesi ile enerji, ekonomi ve ekoloji açısından elde edilen kazanım tahminleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş olup; yıllar itibarıyla artan nüfusun aksine daralan tarım alanları tespit edilmiş olup tarım arazilerinin değişimi ortalama ve standart sapma açısından ($24\ 490\ 105 \pm 1\ 203\ 002$) ha, tüketilen kimyasal gübre ($5\ 352\ 716 \pm 600\ 762$) ton ve N ile P içeren toplam biyo-gübre ($434\ 826 \pm 90\ 520$) ton tahmin edilmiştir. Ayrıca kimyasal gübrenin %40’ının ithal edildiği ve bu miktarın ortalama %20’sinin biyogübre ikamesi ile karşılanabileceği tahmin edilmektedir. Biyogazın Türkiye’deki uzun yıllık ortalama verilerine göre elektrik enerjisi tüketiminin %5’ini ikamesinde kullanma potansiyeline sahip olduğu hesaplanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye %50 oranında katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Not: Bu çalışmanın bir kısmı, 20-21/05/2021’de 3rd Bioenergy Studies symposium’da sunulmuştur.

Kaynakça

- Akbulut A., Dikici A. Elazığ ili'nin biyogaz potansiyeli ve maliyet analizi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi 2004; 2(2): 36-41.
- Akova İ. Yenilenebilir enerji kaynakları. Ankara: Nobel; 2008. Yayın No: 1294, 224s.
- Avcıoğlu AO., Türker U. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. Renew. Sust. Energ. Rev; 2012; 16: 1557-1561.
- Aybek A., Üçok S., İspir MA., Bilgili ME. Türkiye'de kullanılabilir hayvansal gübre ve tahıl sap atıklarının biyogaz ve enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması. NKÜ Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2015; 12(3): 109-120.
- Aybek A., Üçok S., Bilgili ME., İspir MA. Kahramanmaraş ilinde bazı tarımsal atıkların biyogaz enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2015; 29(2): 25-37.
- Bilgili ME. Adana ilindeki biyokütle potansiyelinin elektrik enerjisi ikamesinde kullanım durumu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2020; 3(1): 41-47.
- Brady NC. The nature and properties of soil. (10. Ed.) Newyork. MacMillan Publishing Co. Inc. 1990. ISBN: 0-02-313361-9.
- Bukvic Z., Kralik D., Tolisic Z. Biomass methane. Energy efficiency and agricultural engineering. Conference proceedings, 2002; I: 264-270. Rouse, Bulgaria.
- Dağtekin M., Aybek A., Bilgili ME. Adana ve Mersin'de bulunan etlik piliç kümeslerinde oluşan gübrenin biyogaz ve elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2019; 34(2): 9-22.
- EİE Elektrik İşleri. Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü. 2019. Ankara.
- EPDK. Elektrik piyasası genel görünümü 2019 Yılı. 2019. Erişim tarihi ve adresi: 06/04/2021. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=GQ2DP33Goq4=>
- Görmüş C. Türkiye'deki hayvan gübrelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 78. Tekirdağ. Türkiye, 2018.
- Kapluhan E. Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. Marmara Coğrafya Dergisi 2014; 30: 97-125.
- Karayılmazlar S., Saraçoğlu N., Çabuk Y., Kurt R. Biyokütlenin Türkiye'de enerji üretiminde değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi 2011; 13(19): 63-75.
- Kızılgöz İ. Organik bitkisel üretimin vazgeçilmez girdisi: Ahır gübresi. Ziraat Mühendisliği Dergisi 2012; 358: 14-17.
- Koç E., Şenel MC. Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu genel değerlendirme. Mühendis ve Makina Dergisi 2013; 54(639): 32-44.
- Murphy JD., McKeogh E., Kiely G. Technical/economic/environmental analysis of biogas utilisation. Applied Energy 2004; 77(4): 407-427.
- Murphy JD., Power N. Technical and economic analysis of biogas production in Ireland utilising three

- different crop rotations. *Applied Energy* 2009; 86(1): 25-36.
- Sabuncu ÖC. Biyogaz üretiminin teknik, ekonomik ve çevresel analizi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara. 2010.
- Sefeodpari P., Pudalko R., Jędrejek A., Kozak M., Borzęcka M. To what extent is manure produced, distributed, and potentially available for bioenergy a step toward stimulating circular bio-economy in Poland. *Energies* 2020; 13(23): 6266.
- Tisdale SL., Nelson WL., Beaton JD., Havlin JL. Soil fertility and fertilizers. 5th (ed) MacMillan Publishing Company. New York. USA. 1995. 684p. ISBN: 0-02-420835-3
- Yağlı H., Koç Y. Hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Adana ili örnek hesaplama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2019; 34(3): 35-48.
- Yetiş AD., Gazigil L., Yetiş R. Çelikezen B. Hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli: Bitlis örneği. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 2019; 7(1): 74-78.
- Yılmaz M. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 2012; 4(2): 33-54.
- Yüksel I. Energy production and sustainable energy policies in Turkey. *Renewable Energy* 2010; 35: 1469-1476.
- Zabunoğlu S., Karaçal İ. Gübreler ve gübreleme. Ankara Üni. Zir. Fak. Yay., Ders Kitabı, 293.329 s. 1986. Ankara.



$\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ Halkası Üzerindeki Devirli Kodlar İçin Bazı Sonuçlar

Kemal BALIKÇI^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0001-6234-5627>

*Sorumlu yazar: kbalicki@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi:07.10.2021

Kabul tarihi:08.12.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Lineer kod

Devirli kod

$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod

Dual kod

ÖZ

\mathbb{Z}_4 halkası kodlama teorisinde çok önemli bir yere sahiptir. \mathbb{Z}_4 gibi dört elemanlı önemli diğer bir halka da $\mathbb{Z}_2[u]$ halkasıdır. $\mathbb{Z}_2[u]$ halkası üzerindeki lineer ve devirli kodların \mathbb{Z}_4 halkası üzerindeki lineer ve devirli kodlara göre bazı avantajları olduğu iyi bilinmektedir. Bu çalışmada, ilk olarak $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodlar ve devirli kodlar tanımlandı. Daha sonra, $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ 'deki Lee uzaklığını \mathbb{Z}_2^n 'deki Hamming uzaklığına dönüştüren Φ Gray dönüşümü kullanılarak $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodların Gray görüntüleri elde edildi. Ayrıca, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodların standart üreteç ve kontrol matrislerinin formu belirlendi. Böylece bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodun tipi ve sahip olduğu kodsöz sayısı verildi. Dahası, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların cebirsel yapıları incelendi ve bu kodların üreteç polinomları ile minimum üreteç kümeleri belirlendi. Son olarak, ayrılabilir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların duallerinin formu araştırıldı ve etkili bazı örnekler verildi.

Some Results For Cyclic Codes Over The Ring $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$

Research Article

Article History:

Received: 07.10.2021

Accepted: 08.12.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Linear code

Cyclic code

$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear code

Dual code

ABSTRACT

The ring \mathbb{Z}_4 has a critical role in coding theory. Another important ring with four elements like ring \mathbb{Z}_4 is the ring $\mathbb{Z}_2[u]$. It is well known that linear and cyclic codes over the ring $\mathbb{Z}_2[u]$ has some advantages compared to \mathbb{Z}_4 . In this paper, firstly, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear and cyclic codes are defined. Then, using the Gray map Φ that transforms the Lee distance in $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ to Hamming distance in \mathbb{Z}_2^n , the Gray images of $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear codes are obtained. Also, the standart forms of generating and parity-check matrices of $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear codes are determined. So, the types and sizes of $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear codes are given. Further, algebraic structures of $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -cyclic codes are investigated and the generator polynomials and spanning sets of these codes are determined. Finally, the forms of the dual of separable $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -cyclic codes are presented and are given some illustrative examples.

To Cite: Balıkçı K. $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ Halkası Üzerindeki Devirli Kodlar İçin Bazı Sonuçlar. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):103-117.

1.Giriş

q bir asal sayı veya bir asal sayının kuvveti ve F_q da bir sonlu cisim olmak üzere, F_q^n nin bir C alt uzayına F_q üzerinde n uzunluklu bir lineer kod denir. Kodlama teorisinde yaygın olarak cisimler

kullanılmasına rağmen, farklı halkalar üzerindeki kodlarda araştırmacılar tarafından oldukça ilgi görmektedir (Hammons ve ark., 1994; alışkan, 2021a, alışkan ve Balıkçı, 2019; alışkan ve zkan, 2020; alışkan, 2021b). \mathbb{Z}_2 ve \mathbb{Z}_4 sırasıyla, tamsayıların 2 ve 4 kalan sınıflar halkaları olsun. \mathbb{Z}_2^n 'nin boş olmayan bir alt kümesine bir ikili kod ve bir alt grubuna ise bir ikili lineer kod denir. Benzer şekilde \mathbb{Z}_4^n 'nin boş olmayan bir alt kümesine bir dörtlü kod ve bir alt grubuna ise bir dörtlü lineer kod denir.

Karışık alfabeler üzerindeki kodlar ile ilgili ilk alışma (Brouwer ve ark., 1998)'de tanıtılmış ve bu kodların bazı sınırları belirlenmiştir. (Borges ve ark., 2009)'da, ikili ve dörtlü lineer kodların bir genellemesi olan $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_4$ -toplamsal kod adı verilen iki alfabe üzerinde \mathbb{Z} -altmodül olan hata düzelten kodların yeni bir sınıfı çalışılmıştır. $\alpha + 2\beta = n$ olmak üzere $\mathbb{Z}_2^\alpha \times \mathbb{Z}_4^\beta$ nin bir altgrubu C 'ye bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kod denir. Eğer $\beta = 0$ ise $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlar, ikili lineer koddurlar ve eğer $\alpha = 0$ ise $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlar, \mathbb{Z}_4 üzerinde dörtlü lineer koddurlar. Bugüne kadar $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlar ve onlarla ilgili çok yoğun çalışmalar yapılmıştır (Abualrub ve ark., 2014; Siap ve Aydogdu, 2013).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda \mathbb{Z}_4 halkası sıklıkla kullanılmasına rağmen, $u^2 = 0$ olmak üzere $R = \mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2 = \{0, 1, u, 1 + u\}$ halkası da araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Aydogdu ve ark., 2015; Aydogdu ve ark., 2017). Çünkü, \mathbb{Z}_4 ile karşılaştırıldığında bu halka üzerinde tanımlanan lineer ve devirli kodların bazı avantajları vardır. Örneğin, R halkası üzerinde tanımlanan lineer kodların Gray görüntüleri her zaman ikili lineer koddurlar, fakat bu durum \mathbb{Z}_4 üzerinde tanımlı kodlar için her zaman geçerli değildir. Ayrıca, R zerindeki devirli kodların kod çözme algoritmaları \mathbb{Z}_4 zerindeki kodlara göre daha kolaydır.

Yakın bir zamanda (Mostafanasab, 2017)'de \mathbb{Z}_2 üzerinde l devirli kodları, (Aydogdu ve Gursoy, 2019)'da $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4\mathbb{Z}_8$ -toplamsal kodları ve (Wu ve ark., 2018)'de ise $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodları çalışmışlardır. Bu makalelerde, genellikle ilgili kodların ve duallerinin üreteç matrisleri ve polinomları belirlenmiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan motive olunarak, bu çalışmada, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların bir özel hali olarak $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodların cebirsel yapıları dikkate alınmıştır. Öncelikle, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodların ve duallerinin standart üreteç matrislerinin formları belirlenmiştir. Daha sonra ise, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların üreteç polinomları ve minimum geren kümeleri tanımlanmıştır. Ayrıca, bu kodların ayrılabilir olanlarının dualleri çalışılmıştır. Son olarak, bu kodlarla ilgili çeşitli örnekler verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

$\mathbb{Z}_2 = \{0, 1\}$ sonlu cismi ve $u^2 = 0$ olmak üzere $R = \mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2 = \{0, 1, u, 1 + u\}$ sonlu halkasını dikkate alalım. Halka olarak \mathbb{Z}_2 'nin R halkasının bir althalkası olduğu açıktır. Bu halka kısaca $R = \mathbb{Z}_2[u]$ ile gösterilir. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ 'nun (Aydogdu ve ark., 2015)'de verilen tanımına benzer bir şekilde aşağıdaki kümeyi tanımlayabiliriz.

$$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u] = \{(a|b|c): a, b \in \mathbb{Z}_2, c \in R\}.$$

$\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ kümesi, $u \in R$ elemanı için standart çarpma işlemine göre kapalı değildir. Bu durum, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ kümesinin standart çarpma işlemi altında bir R -modül olmadığını gösterir. Bu kümeyi bir R -modül yapmak için aşağıda verilen çarpma işlemi metoduna ihtiyacımız vardır.

$\eta: R \rightarrow \mathbb{Z}_2$ dönüşümünü $\eta(e_1 + ue_2) = e_1$ olacak şekilde tanımlayalım. O zaman, $\eta(0) = 0$, $\eta(1) = 1$, $\eta(u) = 0$ ve $\eta(1 + u) = 1$ olduğu görülür. Açıkça görülmektedir ki, η dönüşümü bir halka homomorfizmasıdır. Şimdi herhangi bir $d \in R$ için, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ üzerinde $u \in R$ -skaler çarpması aşağıdaki gibi tanımlansın.

$$d * v = (\eta(d)a|\eta(d)b|dc).$$

Bu işlem iyi tanımlıdır. Ayrıca, bu çarpma aşağıda verilen yöntem ile $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ halkasına genellenebilir. Herhangi bir $d \in R$ ve $v = (a_0, a_1, \dots, a_{r-1}|b_0, b_1, \dots, b_{s-1}|c_0, c_1, \dots, c_{t-1}) \in \mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ için,

$$d * v = (\eta(d)a_0, \eta(d)a_1, \dots, \eta(d)a_{r-1}|\eta(d)b_0, \eta(d)b_1, \dots, \eta(d)b_{s-1}|dc_0, dc_1, \dots, dc_{t-1}).$$

dır.

Bu tanım bize aşağıdaki sonucu verir.

Lemma 2.1. $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ halkası yukarıda tanımlanan çarpma işlemi altında bir R -modüldür.

Tanım 2.2. r, s ve t pozitif tamsayılar ve $r + s + 2t = n$ olmak üzere, eğer bir C kodu bir R -modül $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ oluyorsa, C 'ye bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod denir.

$d \in R$ için, $d = e_1 + ue_2$ olacak şekilde en az bir $e_1, e_2 \in \mathbb{Z}_2$ elemanları vardır. R halkasının \mathbb{Z}_2^2 'ye toplamsal grup olarak izomorfik olduğunu hatırlayalım. Dolayısıyla, C bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod ise, bu durumda bazı k_0, k_1, k_2 ve k_3 pozitif tamsayıları için C , bir grup olarak $\mathbb{Z}_2^{k_0+k_1+k_3} \times \mathbb{Z}_2^{2k_2}$ ye izomorfik olur.

$C_t^F = \{(a|b|c) \in \mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t: c, R^t \text{ üzerinde serbest}\}$ bir altmodül ve $\dim(C_t^F) = k_2$ olsun.

$$C_0 = \{(a|b|uc) \in C \setminus C_t^F: a \neq 0, b = 0\}$$

$$C_1 = \{(a|b|uc) \in C \setminus C_t^F: a = 0, b \neq 0\}$$

$$C_2 = \{(a|b|uc) \in C \setminus C_t^F: a = 0, b = 0\}$$

olmak üzere, $D = C_0 \oplus C_1 \oplus C_2$ ve C_0, C_1 ve C_2 kümelerinin boyutları sırasıyla k_0, k_1 ve k_3 olsun.

Tanım 2.3. $C \subseteq \mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olsun. Eğer C , $\mathbb{Z}_2^{k_0+k_1+k_3} \times \mathbb{Z}_2^{2k_2}$ ye grup izomorfik ise, bu durumda k_0, k_1, k_2 ve k_3 yukarıda tanımlandığı gibi olmak üzere, C , $(r, s, t; k_0, k_1, k_2, k_3)$ tipinde bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer koddur.

$e_i + uq_i \in R$ için, $e_i, q_i \in \mathbb{Z}_2$ $0 \leq i \leq t-1$ olsun. $e_i \oplus q_i = e_i + q_i \pmod{2}$ ve $r + s + 2t = n$ olmak üzere

$$\Phi: \mathbb{Z}_2^{r+s} \times R^t \rightarrow \mathbb{Z}_2^n$$

$$\begin{aligned} & \Phi(a_0, a_1, \dots, a_{r-1} | b_0, b_1, \dots, b_{s-1} | e_0 + q_0, e_1 + q_1, \dots, e_{t-1} + q_{t-1}) \\ &= (a_0, a_1, \dots, a_{r-1} | b_0, b_1, \dots, b_{s-1} | q_0, q_1, \dots, q_{t-1}, e_0 \oplus q_0, e_1 \oplus q_1, \dots, e_{t-1} \oplus q_{t-1}) \end{aligned}$$

şeklinde bir Gray dönüşümü tanımlayalım.

Φ dönüşümü $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ 'deki Lee uzaklığını \mathbb{Z}_2^n 'deki Hamming uzaklığına dönüştüren bir izometridir. Dahası, bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod C için, $\Phi(C)$ bir ikili lineer koddur. Bu özellik genel olarak $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -toplamsal kodlar için geçerli değildir.

$w_H(a)$ ve $w_H(b)$ sırasıyla, a ve b kodsözlerinin Hamming ağırlıkları, $w_L(c)$ 'de c kodsözünün Lee ağırlığı olmak üzere, $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ 'deki bir kodsözün Lee ağırlığı

$$w_L(a|b|c) = w_H(a) + w_H(b) + w_L(c)$$

şeklinde tanımlanır. $e \in R$ koordinatının Lee ağırlığı, eğer $e = u$ ise $w_L(e) = 2$, eğer $e \in \{1, 1+u\}$ ve sıfır ise $w_L(e) = 1$ olarak tanımlanır.

Bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod C 'nin $\Phi(C)$ ikili görüntüsü, uzunluğu $r + s + 2t = n$ ve 2^n tane kodsözden oluşan bir ikili lineer koddur.

$|X| = r$, $|Y| = s$ ve $|Z| = t$ olmak üzere, X ve Y , \mathbb{Z}_2 koordinatlara, Z 'de R koordinatlara sahip olsun. C_r, C_s ve C_t , sırasıyla X, Y ve Z dışındaki koordinatların silinmesiyle elde edilen kodları gösterebiliriz.

Herhangi iki eleman $v = (a_0, a_1, \dots, a_{r-1} | b_0, b_1, \dots, b_{s-1} | c_0, c_1, \dots, c_{t-1})$, $v' = (a'_0, a'_1, \dots, a'_{r-1} | b'_0, b'_1, \dots, b'_{s-1} | c'_0, c'_1, \dots, c'_{t-1}) \in \mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ olsun. v ile v' nün iç çarpımı

$$\langle v, v' \rangle = u \left(\sum_{i=0}^{r-1} a_i a'_i \right) + u \left(\sum_{j=0}^{s-1} b_j b'_j \right) + \sum_{k=0}^{t-1} c_k c'_k \in (\mathbb{Z}_2 + u\mathbb{Z}_2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada çarpma işlemleri R üzerinde yapılmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Lineer Kodların Üreteç ve Kontrol Matrisleri

Teorem 3.1.1. C , $(r, s, t; k_0, k_1, k_2, k_3)$ tipinde bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olsun. C kodunun üreteç matrisinin standart hali, aşağıdaki gibi verilen bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer koda permütasyon denktir.

$$G = \left(\begin{array}{cc|cc|cc} I_{k_0} & A_1 & 0 & T_1 & 0 & 0 & uT_2 \\ 0 & 0 & I_{k_1} & A_2 & 0 & 0 & uT_3 \\ 0 & S_1 & 0 & S_2 & I_{k_2} & A_3 & B_1 + uB_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & uI_{k_3} & uD \end{array} \right). \quad (3.1)$$

Burada $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, D, S_1, S_2, T_1, T_2$ ve T_3 , \mathbb{Z}_2 üzerinde matrislerdir. $I_{k_0}, I_{k_1}, I_{k_2}$ ve I_{k_3} birim matrislerdir ve C 'de $2^{k_0+k_1+4k_2}2^{k_3}$ kodsöz vardır.

İspat: R üzerinde t uzunluklu herhangi bir lineer kodun üreteç matrisinin

$$\left(\begin{array}{ccc} I_{k_1} & A' & B'_1 + uB'_2 \\ 0 & uI'_{k_3} & uD' \end{array} \right)$$

şeklinde olduğu bilinmektedir (Aydogdu ve ark., 2015).

Ayrıca, r ve s uzunluklu herhangi iki lineer kod sırasıyla $(I'_{k_0} \ A'_1)$ ve $(I'_{k_1} \ A'_2)$ matrisleri tarafından üretildiği kabul edilebilir. C , $r + s + 2t$ uzunluklu bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olduğundan, C kodu tüm bileşenleri \mathbb{Z}_2 'den olan

$$\left(\begin{array}{cc|cc|cc} I'_{k_0} & A'_1 & T_{01} & T_{02} & T_{03} & T_{04} & T_{05} \\ S_{01} & S_{02} & I'_{k_1} & A'_2 & T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & I_{k_1} & A' & B'_1 + uB'_2 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & 0 & uI'_{k_3} & uD' \end{array} \right)$$

şeklindeki bir matris tarafından üretilir. Şimdi bu matrise gerekli satır ve sütun işlemlerinin uygulanmasıyla istenen standart form matrisi elde edilebilir.

Örnek 3.1.2. C , aşağıdaki üreteç matrisine sahip bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olsun.

$$G = \left(\begin{array}{ccc|cc|cc} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1+u & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & u \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1+u & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & u & 1 & u \end{array} \right) \quad (3.2)$$

Eğer G matrisine elemanter satır sütun işlemleri uygulanırsa, aşağıda verilen standart formdaki matris elde edilir.

$$G_S = \left(\begin{array}{ccc|cc} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \middle| \begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & u \\ 0 & 0 & u \\ 1+u & 1 & 1 \\ 0 & u & u \end{array} \right).$$

Dolayısıyla C , $(3,2,3; 2,1,1,1)$ tipindedir ve $2^{2^{+1+1}4^1} = 64$ kodsöze sahiptir.

Teorem 3.1.3. C , standart üreteç matrisi 3.1'deki formda olan ve $(r, s, t; k_0, k_1, k_2, k_3)$ tipinde bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olsun. O zaman, C 'nin kontrol matrisi

$$H = \left(\begin{array}{cc|cc} -A_1^t & I_{r-k_0} & 0 & T_1 \\ -T_1^t & 0 & -A_2^t & I_{s-k_1} \\ -T_2^t & 0 & -T_3^t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \middle| \begin{array}{ccc} -uS_1^t & 0 & 0 \\ -uS_2^t & 0 & 0 \\ -(B_1 + uB_2)^t + D^tA_3^t & D^t & I_{t-k_2-k_3} \\ -uA_3^t & uI_{k_3} & 0 \end{array} \right)$$

şeklinde verilir. Bu durumda, C^\perp dual kodu, $(r, s, t; r - k_0, s - k_1, t - k_2 - k_3, k_3)$ tipindedir.

İspat. $GH^\perp = 0$ olduğu açıktır. Dolayısıyla, H 'nin her satırı, G 'nin satırlarına ortogondur. Dahası, lineer kodların standart formdaki üreteç matrisleri minimum sayıda satır içerdiğinden, C^\perp , $2^{r-k_0}2^{s-k_1}2^{2(t-k_2-k_3)}2^{k_3}$ tane kodsöze sahiptir. Böylece

$$|C||C^\perp| = 2^{k_0+k_1}2^{2k_2}2^{k_3}2^{r-k_0}2^{s-k_1}2^{2(t-k_2-k_3)}2^{k_3} = 2^{r+s+2t}$$

elde edilir. Bu yüzden, H matrisinin satırları sadece C 'ye ortogonal değil, ayrıca dual uzayını da üretir.

Örnek 3.1.4. C , standart formdaki üreteç matrisi 3.2'de verilen $(3,2,3; 2,1,1,1)$ tipinde bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olsun. C 'nin kontrol matrisi

$$H = \left(\begin{array}{ccc|cc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & u & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \middle| \begin{array}{ccc} u & 0 & 0 \\ u & 0 & 0 \\ u & 1 & 1 \\ u & u \end{array} \right)$$

şeklinindedir. Bu durumda C^\perp , $(3,2,3; 1,1,1,1)$ tipindedir ve $2^{1^{+1+1}4^1} = 32$ kodsöze sahiptir. Açıkça görülmektedir ki, $|C||C^\perp| = 2^62^5$ dir.

3.2. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Lineer Devirli Kodlar

Devirli kodların belirli halkaların idealleri olarak tanımlandığı iyi bilinen bir gerçektir. Bu yüzden, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer devirli kodların $\mathcal{R}_{r,s,t} = \mathbb{Z}_2[x] / \langle x^r - 1 \rangle \times \mathbb{Z}_2[x] / \langle x^s - 1 \rangle \times R[x] / \langle x^t - 1 \rangle$ 'nin sol $R[x]$ altmodülleri oldukları gösterilecektir.

Tanım 3.2.1. C , $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ 'nin bir alt kümesi olmak üzere, eğer C aşağıdaki koşulları sağlıyorsa, C 'ye bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer devirli kod denir.

i) C , $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ 'nin bir R -altmodülüdür,

ii) herhangi bir $v = (a_0, a_1, \dots, a_{r-1} | b_0, b_1, \dots, b_{s-1} | c_0, c_1, \dots, c_{t-1}) \in C$ için, $T(v) = (a_{r-1}, a_0, \dots, a_{r-2} | b_{s-1}, b_0, \dots, b_{s-2} | c_{t-1}, c_0, \dots, c_{t-2})$ devirsel ötelemesi de C 'nin bir elemanıdır.

Tanım 3.2.2. C , bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer devirli kod olsun. C 'nin duali

$$C^\perp = \{w \in \mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t : \text{her } v \in C \text{ için } \langle w, v \rangle = 0\}$$

olarak tanımlanır. Dualin bu tanımını kullanarak aşağıdaki sonuca sahip oluruz.

Sonuç 3.2.3. Eğer C , bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer devirli kod ise, C^\perp de bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer devirli koddur.

Bir $v = (a_0, a_1, \dots, a_{r-1} | b_0, b_1, \dots, b_{s-1} | c_0, c_1, \dots, c_{t-1}) \in \mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ elemanı, $\mathcal{R}_{r,s,t}$ modülünde üç polinomdan oluşan bir eleman olarak aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$\begin{aligned} v &= (a_0 + a_1x + \dots + a_{r-1}x^{r-1} | b_0 + b_1x + \dots + b_{s-1}x^{s-1} | c_0 + c_1x + \dots + c_{t-1}x^{t-1}) \\ &= (a(x) | b(x) | c(x)). \end{aligned}$$

Bu belirleniş, $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_2^s \times R^t$ 'nin elemanları ile $\mathcal{R}_{r,s,t}$ 'nin elemanları arasında bir bire bir eşleme verir.

$f(x) = f_0 + f_1x + \dots + f_kx^k \in R[x]$, $(a(x) | b(x) | c(x)) \in \mathcal{R}_{r,s,t}$ olsun ve $\eta(f(x)) = \eta(f_0) + \eta(f_1)x + \dots + \eta(f_k)x^k$ olmak üzere,

$$f(x) * (a(x) | b(x) | c(x)) = (\eta(f(x))a(x) | \eta(f(x))b(x) | f(x)c(x))$$

verilen çarpma işlemi dikkate alınır.

Şimdi $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer devirli kodların polinom tanımını yapabiliriz.

Tanım 3.2.4. C , $\mathcal{R}_{r,s,t}$ 'nin bir alt kümesi olsun. Eğer C , $\mathcal{R}_{r,s,t}$ nin bir altgrubu oluyor ve her

$$v = (a_0 + a_1x + \dots + a_{r-1}x^{r-1} | b_0 + b_1x + \dots + b_{s-1}x^{s-1} | c_0 + c_1x + \dots + c_{t-1}x^{t-1}) \in C$$

için

$$x * v = (a_{r-1} + a_0x + \dots + a_{r-2}x^{r-1} | b_{s-1} + b_0x + \dots + b_{s-2}x^{s-1} | c_{t-1} + c_0x + \dots + c_{t-2}x^{t-1})$$

elemanı da C 'nin bir elemanı oluyorsa, C 'ye bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod denir.

Yukarıdaki tanımdan, aşağıdaki sonuca sahip oluruz.

Lemma 3.2.5. Bir C kodunun bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod olabilmesi için gerek ve yeter koşul C 'nin $\mathcal{R}_{r,s,t}$ 'nin bir $R[x]$ -altmodülü olmasıdır.

Gösterim 3.2.6. Bundan sonra bir $f(x) \in \mathbb{Z}_2[x]$ (ya da $R[x]$) polinomu kısaca f ile, $f(x)$ tarafından üretilen bir ideal ise $\langle f \rangle$ ile gösterilecektir. Ayrıca, t 'yi daima tek tamsayı olarak kabul edeceğiz.

3.3. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Devirli Kodların Cebirsel Yapısı

Bu bölümde, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların $\mathcal{R}_{r,s,t}$ nin bir $R[x]$ -altmodülü olarak üreteç kümeleri çalışılacaktır.

Teorem 3.3.1. C , bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod olsun. Bu durumda $f_1, f_2, l_1, l_2 \in \mathbb{Z}_2[x]$; $f_3, a \in R[x]$, $f_1 | \langle x^r - 1 \rangle \pmod{2}$, $f_2 | \langle x^s - 1 \rangle \pmod{2}$, $f_3 | \langle x^t - 1 \rangle \pmod{2}$ olmak üzere C kodu

$$C = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (l_1|l_2|f_3 + ua) \rangle$$

şeklinde tek türlü olarak belirlenir.

İspat. C ve $R[x] / \langle x^t - 1 \rangle$, $\mathcal{R}_{r,s,t}$ nin $R[x]$ -altmodülleri olduğundan,

$$\Psi: C \rightarrow R[x] / \langle x^t - 1 \rangle$$

$$\Psi(c_1|c_2|c_3) = c_3$$

şeklinde bir dönüşüm tanımlayabiliriz. Açıkça görülmektedir ki, tanımlanan bu dönüşüm bir $R[x]$ -modül homomorfizmasıdır. Ayrıca $\Psi(C)$, $R[x] / \langle x^t - 1 \rangle$ nin bir $R[x]$ -modülüdür, aslında bir idealdir ve $\text{Ker}(\Psi)$ de C 'nin bir altmodülüdür.

t bir tek tamsayı olduğundan, yukarıdaki tartışmalardan ve (Aydogdu ve ark., 2017)'deki Teorem 3 den $\Psi(C) = \langle f_3 + ua \rangle$ olacak şekilde $f_3, a \in R[x]$, $a | f_3 | \langle x^t - 1 \rangle \pmod{2}$ polinomları vardır.

Dikkat edilirse

$$\text{Ker}(\Psi) = \{(c_1|c_2|0) \in \mathcal{R}_{r,s,t} : (c_1|c_2|0) \in C\}$$

dir. Bu durumda $\mathcal{R}_{r,s} = \mathbb{Z}_2[x] / \langle x^r - 1 \rangle \times \mathbb{Z}_2[x] / \langle x^s - 1 \rangle$ olmak üzere

$$I = \{(c_1|c_2) \in \mathcal{R}_{r,s} : (c_1|c_2|0) \in \text{Ker}(\Psi)\},$$

kümesini tanımlayabiliriz. I nin $\mathcal{R}_{r,s}$ nin bir ideali olduğu açıktır. $I = I_1 \times I_2$ olacak şekilde $\mathbb{Z}_2[x] / \langle x^r - 1 \rangle$ nin bir I_1 ideali ve $\mathbb{Z}_2[x] / \langle x^s - 1 \rangle$ nin bir I_2 ideali vardır. Dolayısıyla, $I_1 = \langle f_1 \rangle$, $I_2 = \langle f_2 \rangle$ olacak şekilde $f_1, f_2 \in \mathbb{Z}_2[x]$, $f_1 | \langle x^r - 1 \rangle \pmod{2}$, $f_2 | \langle x^s - 1 \rangle \pmod{2}$ polinomları vardır. Bu

yüzden $I = \langle (f_1|0), (0|f_2) \rangle$ olduğunu elde ederiz. Şimdi herhangi bir $(c_1|c_2|0) \in Ker(\Psi)$ elemanı için $(c_1|c_2) \in I$ dır ve

$$(c_1|c_2) = m * ((f_1|0), (0|f_2))$$

olacak şekilde en az bir $m \in \mathbb{Z}_2[x]$ polinomu vardır. Buradan

$$(c_1|c_2|0) = m * ((f_1|0|0), (0|f_2|0))$$

olduğunu elde ederiz. Bu ise

$$Ker(\Psi) = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0) \rangle$$

olmasını gerektirir. Birinci izomorfizm teoreminden $C / Ker(\Psi) \cong \langle f_3 + ua \rangle$ olduğu bulunur.

$\Psi(C) = (l_1|l_2|f_3 + ua)$ olacak şekilde bir $(l_1|l_2|f_3 + ua) \in C$ olsun. Bu tartışmalar, herhangi bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodun $\mathcal{R}_{r,s,t}$ nin bir $R[x]$ -altmodülü olarak $(f_1|0|0)$, $(0|f_2|0)$, $(l_1|l_2|f_3 + ua)$, $f_1, f_2, l_1, l_2 \in \mathbb{Z}_2[x]$; $f_3, a \in R[x]$, $f_1 | \langle x^r - 1 \rangle \pmod{2}$, $f_2 | \langle x^s - 1 \rangle \pmod{2}$, $f_3 | \langle x^t - 1 \rangle \pmod{2}$ şeklindeki elamanlar tarafından üretildiğini gösterir. Ayrıca, $d_1, d_2, d_3 \in R[x]$ olmak üzere, C nin herhangi bir elemanı

$$d_1 * (f_1|0|0) + d_2 * (0|f_2|0) + d_3 * (l_1|l_2|f_3 + ua)$$

formundadır.

Lemma 3.3.2. Eğer $C = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (l_1|l_2|f_3 + ua) \rangle$ bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod ise, bu durumda $deg(l_1) < deg(f_1)$ ve $deg(l_2) < deg(f_2)$ olduğunu kabul edebiliriz.

İspat. $deg(l_1) - deg(f_1) = i$ olacak şekilde $deg(l_1) > deg(f_1)$ olduğunu kabul edelim.

$$C' = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (l_1 + x^i f_1 | l_2 | f_3 + ua) \rangle$$

kodunu alalım. Dikkat edilirse

$$(l_1 + x^i f_1 | l_2 | f_3 + ua) = (x^i f_1 | 0 | 0) + (l_1 | l_2 | f_3 + ua)$$

dır. Buradan $C' \subseteq C$ elde edilir. Ayrıca,

$$(l_1 | l_2 | f_3 + ua) = (l_1 + x^i f_1 | l_2 | f_3 + ua) - x^i * (f_1 | 0 | 0)$$

olduğundan, $C \subseteq C'$ olduğunu elde ederiz. Dolayısıyla, $C' = C$ bulunur. Benzer metot $deg(l_2) < deg(f_2)$ olduğunu ispatlamak için de kullanılabilir.

Lemma 3.3.3. Eğer $C = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (l_1|l_2|f_3 + ua) \rangle$ bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod ise, bu durumda

$f_1 | \frac{x^t-1}{a} l_1 \pmod{u}$, $f_2 | \frac{x^t-1}{a} l_2 \pmod{u}$ ve $f_1 f_2 | \frac{x^t-1}{a} \text{obeb}(f_1 f_2, f_1 l_2, f_2 l_1) \pmod{u}$ olduğunu kabul edebiliriz.

İspat. $\Psi \left(\frac{x^t-1}{a} * (l_1|l_2|f_3 + ua) \right) = \Psi \left(\left(\eta \left(\frac{x^t-1}{a} \right) l_1 | \eta \left(\frac{x^t-1}{a} \right) l_2 | 0 \right) \right)$ olduğundan,

$$\left(\left(\eta \left(\frac{x^t-1}{a} \right) l_1 | \eta \left(\frac{x^t-1}{a} \right) l_2 | 0 \right) \right) \in \text{Ker}(\Psi) \subseteq C$$

dır. Buradan $f_i | \frac{x^t-1}{a} l_i$, $i = 1, 2$ elde edilir. Dolayısıyla, $f_1 f_2 | \frac{x^t-1}{a} \text{obeb}(f_1 f_2, f_1 l_2, f_2 l_1) \pmod{u}$ ya sahip oluruz.

Lemma 3.3.2, eğer C sadece $(l_1|l_2|f_3 + ua)$ tarafından üretilen bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod ise, $x^r - 1 | \frac{x^t-1}{a} l_1$, $x^s - 1 | \frac{x^t-1}{a} l_2$ ve $a | f_3 | \langle x^t - 1 \rangle \pmod{2}$ olduğunu gösterir.

Lemma 3.3.2. ve Lemma 3.3.3.'ten aşağıdaki sonuca sahip oluruz.

Sonuç 3.3.5. Eğer $\text{obeb} \left(f_i, \frac{x^t-1}{a} \right) = 1$ ise, $l_i = 0$, $i = 1, 2$ dir.

3.4. Minimum Üreteç Kümeleri

Bu bölümde $\mathcal{R}_{r,s,t}$ de bir $R[x]$ -modül olarak C nin minimum üreteç kümesi belirlenmiştir. Bu sayede C nin eleman sayısı hakkında bilgi sahibi olabileceğiz.

Teorem 3.4.1. $C = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (l_1|l_2|f_3 + ua) \rangle$, $\text{deg}(f_1) = r_1$, $\text{deg}(f_2) = s_1$, $\text{deg}(f_3) = t_1$, $\text{deg}(a) = t_2$ ve $h = \frac{x^t-1}{f_3}$ ile bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod olsun.

$$S_1 = \bigcup_{i=0}^{r-r_1-1} \{x^i * (f_1|0|0)\}$$

$$S_2 = \bigcup_{i=0}^{s-s_1-1} \{x^i * (0|f_2|0)\}$$

$$S_3 = \bigcup_{i=0}^{t-t_1-1} \{x^i * (l_1|l_2|f_3 + ua)\}$$

$$S_4 = \bigcup_{i=0}^{t_1-t_2-1} \{x^i * (\eta(h)l_1|\eta(h)l_2|uha)\}$$

olarak tanımlanırsa, $S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4$, $\mathcal{R}_{r,s,t}$ de bir $R[x]$ -modül olarak C nin minimum üreteç kümesini oluşturur ve C nin $2^{r-r_1}2^{s-s_1}4^{t-t_1}2^{t_1-t_2}$ tane kodsözü vardır.

İspat. c , C nin bir kodsözü olsun. Teorem 3.3.1.'e göre

$$d_1 * (f_1|0|0) + d_2 * (0|f_2|0) + d_3 * (l_1|l_2|f_3 + ua)$$

olacak şekilde $d_1, d_2, d_3 \in R[x]$ polinomları vardır.

Eğer $\deg(\eta(d_1)) = r - r_1 - 1$ ise, $(\eta(d_1)f_1|0|0) \in \text{Span}(S_1)$ dir. Aksi takdirde, bölme algoritmasından dolayı

$$\eta(d_1) = \frac{x^r - 1}{f_1} \eta(q_1) + \eta(e_1)$$

olacak şekilde $\eta(e_1) = 0$ ya da $\deg(\eta(e_1)) \leq r - r_1 - 1$, $q_1, e_1 \in R[x]$ polinomları vardır. Dolayısıyla, $d_1 * (f_1|0|0) = e_1 * (f_1|0|0)$ olduğu elde edilir. Buradan $d_1 * (f_1|0|0) \in \text{Span}(S_1)$ dir. Benzer şekilde $d_2 * (0|f_2|0) \in \text{Span}(S_2)$ olduğu da gösterilebilir.

Eğer $\deg(d_3) = t - t_1 - 1$ ise, $d_3 * (l_1|l_2|f_3 + ua) \in \text{Span}(S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4)$ tür. Aksi takdirde, yine bölme algoritmasından,

$$d_3 = hq_3 + e_3$$

olacak şekilde $e_3 = 0$ ya da $\deg(e_3) \leq t - t_1 - 1$, $q_3, e_3 \in R[x]$ polinomları vardır. Dolayısıyla,

$$d_3 * (l_1|l_2|f_3 + ua) = q_3 * (\eta(h)l_1|\eta(h)l_2|uha) + e_3 * (l_1|l_2|f_3 + ua)$$

dir. $e_3 * (l_1|l_2|f_3 + ua) \in \text{Span}(S_3)$ olduğu açıktır. Bu durumda $q_3 * (\eta(h)l_1|\eta(h)l_2|uha) \in \text{Span}(S_1 \cup S_2 \cup S_4)$ olduğunu göstermek kalıyor.

Lemma 3.3.3.'ten $f_1 | \frac{x^t-1}{a} l_1$, $f_2 | \frac{x^t-1}{a} l_2$ dir. Dolayısıyla, $\frac{x^t-1}{a} l_1 = f_1 k_1$ ve $\frac{x^t-1}{a} l_2 = f_2 k_2$ olacak şekilde $k_1, k_2 \in R[x]$ polinomları vardır. Eğer $\deg(q_3) \leq t_1 - t_2 - 1$ ise, istenen elde edilmiş olur. Aksi takdirde,

$$q_3 = \frac{x^t - 1}{ha} q_4 + e_4$$

olacak şekilde $e_4 = 0$ ya da $\deg(e_4) \leq t_1 - t_2 - 1$, $q_4, e_4 \in R[x]$ polinomları vardır. Bu durumda

$$S_2 = \bigcup_{i=0}^{9-7-1} \{x^i * (0|f_2|0)\} = \bigcup_{i=0}^1 \{x^i * (0|1+x+x^3+x^4+x^6+x^7|0)\}$$

$$S_3 = \bigcup_{i=0}^{15-11-1} \{x^i * (l_1|l_2|f_3 + ua)\}$$

$$= \bigcup_{i=0}^3 \left\{ x^i * \left(1+x^2+x^3 | 1+x^3+x^6 \right) \left| \begin{array}{l} 1+u+(1+u)x+(1+u)x^2 \\ +(1+u)x^3+x^5+ux^6+x^7+x^8+x^{11} \end{array} \right. \right\}$$

$$S_4 = \bigcup_{i=0}^{11-6-1} \{x^i * (\eta(h)l_1|\eta(h)l_2|uha)\} = \bigcup_{i=0}^4 \{x^i * (x+x^2+x^3|1+x^3+x^6|u+ux^5+ux^{10})\}$$

ve C , $2^3 2^2 2^4 2^5$ kodsöze sahiptir. Dahası, $\Phi(C)$, $(46, 2^{18}, 4)$ parametrelerine sahip ikili bir lineer koddur. $\Phi(C)$ nin Hamming ağırlık sayacı MAGMA ile hesaplanırsa (<http://magma.maths.usyd.edu.au/calc/>)

$$\begin{aligned} & x^{46} + 7x^{42}y^4 + 3x^{40}y^6 + 51x^{38}y^8 + 189x^{36}y^{10} + 1318x^{34}y^{12} + 2673x^{32}y^{14} + 14398x^{30}y^{16} \\ & + 20714x^{28}y^{18} + 44844x^{26}y^{20} + 46874x^{24}y^{22} + 46874x^{22}y^{24} + 44844x^{20}y^{26} \\ & + 20714x^{18}y^{28} + 14398x^{16}y^{30} + 2673x^{14}y^{32} + 1318x^{12}y^{34} + 189x^{10}y^{36} \\ & + 51x^8y^{38} + 3x^6y^{40} + 7x^4y^{46} \end{aligned}$$

şeklinde elde edilir.

4. Ayrılabilir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -Devirli Kodların Dualleri

Sonuç 3.2.3.'e göre, bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodun dualinde bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod olduğunu biliyoruz. C 'nin dual kodunu

$$C^\perp = \langle (\hat{f}_1|0|0), (0|\hat{f}_2|0), (\hat{l}_1|\hat{l}_2|\hat{f}_3 + u\hat{a}) \rangle$$

olarak ele alalım.

Tanım 4.1. Eğer bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kod C , $C = C_r \times C_s \times C_t$ şeklinde yazılabiliyorsa, C 'ye ayrılabilir kod denir.

(Wu ve ark., 2018) de ifade edildiği gibi, eğer C ayrılabilir ise, C kodu

$$C = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (0|0|f_3 + ua) \rangle$$

formundadır.

Teorem 4.2. $f_1|x^r - 1$, $f_2|x^s - 1$, $f_3 = ab$ ve en az bir $h_{f_3} \in R[x]$ için $abh_{f_3} = x^t - 1$ ile $C = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (0|0|f_3 + ua) \rangle$ ayrılabilir bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod olsun. Bu durumda

$$C^\perp = \left\langle \left(\frac{x^r - 1}{f_1^*} \middle| 0 \middle| 0 \right), \left(0 \middle| \frac{x^s - 1}{f_2^*} \middle| 0 \right), (0|0|h_{f_3}^* b^* + uh_{f_3}^*) \right\rangle$$

dır.

İspat. C ayrılabilir olduğundan,

$$(C^\perp)_r = (C_r)^\perp = \left\langle \frac{x^r - 1}{f_1^*} \right\rangle$$

$$(C^\perp)_s = (C_s)^\perp = \left\langle \frac{x^s - 1}{f_2^*} \right\rangle$$

$$(C^\perp)_t = (C_t)^\perp = \langle h_{f_3}^* b^* + uh_{f_3}^* \rangle$$

olduğunu biliyoruz. (Wu ve ark., 2018) den $C^\perp = (C^\perp)_r \times (C^\perp)_s \times (C^\perp)_t$ olduğunu elde ederiz. Bu da ispatı tamamlar.

Örnek 4.3. $r=3$, $s=5$ ve $t=7$ için $f_1 = 1 + x$, $f_2 = 1 + x + x^2 + x^3 + x^4$, $f_3 = 1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^6$, $a = 1 + x^2 + x^3$, $b = 1 + x + x^3$ ve $h_{f_3} = 1 + x^2 + x^3$ olmak üzere, $C = \langle (f_1|0|0), (0|f_2|0), (0|0|f_3 + ua) \rangle$ ayrılabilir bir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kod olsun.

Bu durumda, Teorem 4.2'den C nin dual kodu, $\hat{f}_1 = 1 + x + x^2$, $\hat{f}_2 = 1 + x$, $\hat{f}_3 = 1 + x + x^2 + x^4$, $\hat{a} = 1 + x$, $\hat{b} = 1 + x^2 + x^3$ ve $\hat{h}_{f_3} = 1 + x + x^3$ olmak üzere, $C^\perp = \langle (\hat{f}_1|0|0), (0|\hat{f}_2|0), (\hat{f}_1|\hat{f}_2|\hat{f}_3 + u\hat{a}) \rangle$ şeklinde elde edilir. Dahası, $\Phi(C^\perp), (22, 2^{14}, 2)$ parametrelili bir ikili lineer koddur.

6. Sonuç

$\mathbb{Z}_2[u]$ halkası üzerindeki lineer ve devirli kodların \mathbb{Z}_4 halkası üzerindeki lineer ve devirli kodlara göre bazı avantajları olduğu iyi bilinmektedir. Özellikle, $\mathbb{Z}_2[u]$ üzerindeki lineer kodların Gray görüntüleri daima lineer iken \mathbb{Z}_4 için bu durum her zaman doğru değildir. Literatürde, karışık alfabeler üzerindeki kodlarla ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu amaçla bu makalede $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer ve devirli kodlar çalışıldı. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -lineer kodların standart üreteç ve kontrol matrislerinin formları araştırıldı. Ayrıca, $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların üreteç polinomları ve minimum üreteç kümeleri belirlendi. Son olarak, ayrılabilir $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların dualleri incelendi. Gelecek çalışmalar için ayrılabilir olmayan $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -devirli kodların dualleri ve bunların cebirsel yapıları araştırılabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalenin yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığımı beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makalenin yazarı olarak bu çalışmaya %100 oranında katkı sağladığımı beyan ederim.

Kaynakça

- Abualrub T., Siap I., Aydin N. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -additive cyclic codes. *IEEE Trans. Inf. Theory* 2014; 60(3): 1508-1514.
- Aydogdu I., Abualrub T., Siap, I. On $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -additive codes. *Int. J. Comput. Math.* 2015; 92: 1806-1814.
- Aydogdu I., Abualrub T., Siap I. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -cyclic and constacyclic codes. *IEEE Trans. Inf. Theory* 2017; 63(8): 4883-4893.
- Aydogdu I., Gursoy F. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4\mathbb{Z}_8$ -Cyclic Codes. *J. Appl. Math. Comput.* 2019; 60(1-2): 327-341.
- Borges J., Fernández-Córdoba C., Pujol J., Rifa J. Villanueva M. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -linear codes: Generator matrices and duality, *Des. Codes Cryptogrph.* 2009; 54(2): 167-179.
- Borges J. Fernández-Córdoba C. A characterization of $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2[u]$ -linear codes. *Des. Codes Cryptogr.* 2018; 86(7): 1377-1389.
- Brouwer AE., Hamalainen HO., Ostergard PRJ., Sloane NJA. Bounds on mixed binary/ternary codes. *IEEE Trans. Inf. Theory* 1998; 44(1): 140-161.
- Çalışkan B. On one-weight and acd codes in $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_4^s \times \mathbb{Z}_8^t$. *Filomat* 2021; 35(3): 871-882.
- Çalışkan B., Balıkçı K. Counting $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4\mathbb{Z}_8$ -additive codes. *European Journal of Pure and Applied Mathematics* 2019; 12(2): 668-679.
- Çalışkan B., Özkan Ö. Serbest $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4\mathbb{Z}_8$ -toplamsal kodları sayma. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 13: 70-75.
- Çalışkan B. $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ üzerinde aykırı devirli kodlar için bazı sonuçlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 28: 660-664.
- Hammons AR., Kumar PV., Calderbank AR., Sloane NJA., Solé P. The \mathbb{Z}_4 -linearity of kerdock, preparata, goethals and related codes. *IEEE Trans. Inform. Theory* 1994; 40: 301-319.
- Mostafanasab H. Triple cyclic codes over \mathbb{Z}_2 . *Palest. J. Math.* 2017; 6(Special Issue: II): 123-134.
- Siap I., Aydogdu I. The structure of $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_{2^s}$ -additive codes: Bounds on the minimum distance. *Appl. Math. Inf. Sci.* 2013; 7(6): 2271-2278.
- Wu T., Gao J., Gao Y., Fu FW. $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4$ -additive cyclic codes. *Adv. Math. Commun.* 2018; 12: 641-657.



Kılavuzlu Baraj Gölü (Kahramanmaraş) Su Kalitesinin Kanada Su Kalite İndeks Sınıfı'na göre Değerlendirilmesi

Muhterem KÜÇÜKÖNDER^{1*}, Erkan KALKAN², Kevser CIRIK³

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

³ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

¹ <http://orcid.org/0000-0001-5350-7794>

² <http://orcid.org/0000-0002-9769-4330>

³ <http://orcid.org/0000-0002-1756-553X>

*Sorumlu yazar: muhteremkucukonder@ksu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.07.2021

Kabul tarihi: 23.09.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Kılavuzlu barajı

Su kalitesi

IDW

KSKİ

Bu çalışma; Kahramanmaraş ilinde Menzelet ve Sır Barajları arasında yer alan enerji üretimi, tarımsal sulama ve balık yetiştiriciliği yapılan Kılavuzlu Baraj Gölü'nde 2018 yılında mevsimsel olarak 11 örnekleme noktasından Nisan, Ağustos ve Kasım aylarında yerinde ölçümler ve su örnekleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Alınan numunelerde fiziko-kimyasal değerler olarak sıcaklık, pH, nitrat, amonyum, toplam organik karbon, inorganik karbon, toplam karbon ve sülfat analiz edilmiştir. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) tekniği kullanılarak Kılavuzlu Baraj Gölü'nde su kalitesi parametrelerinin mekânsal değişimi haritalandırılmıştır. Rezervuarın, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre sıcaklık, pH, nitrat ve sülfat değerleri için I. kalite su sınıfına, amonyum değerleri için IV. kalite su sınıfına dahil olduğu tespit edilmiştir. Referans değerlerin üzerinde olan amonyum ve toplam organik karbon parametrelerinin etkisi ile Kanada Su Kalitesi İndeksine göre ise kötü sınıfa dahil olmuştur. İl ekonomisine önemli katkısı bulunan Kılavuzlu Baraj Gölü'nde su ürünleri yetiştiriciliğinin ve tarımsal sulama amaçlı kullanımın sürdürülebilir olması adına su ekosistemini korumaya yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir.

Assessment of Kılavuzlu Dam Lake (Kahramanmaraş) Water Quality According to Canadian Water Quality Index Class

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 16.07.2021

Accepted: 23.09.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Kılavuzlu reservoir

Water quality

IDW

CWQI

This study was carried out at 11 sampling sites by in situ measurements and taking surface water samples in April, August and November 2018 in the Kılavuzlu Dam Lake, that is located between Menzelet and Sır Dams in Kahramanmaraş, and used for energy production, agricultural irrigation and fish farming. Water temperature, pH, nitrate, ammonium, total organic carbon, inorganic carbon, total carbon and sulfate were analyzed as physico-chemical parameters in the water samples. Spatial variation of water quality parameters in Kılavuzlu reservoir was mapped using the Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW) technique. It was determined that the Kılavuzlu Reservoir is in the I. quality water class in terms of temperature, pH, nitrate and sulfate parameters, while it is included in the IV. quality water class for ammonium values according to the Regulations on Surface Water Quality. Due to the effects of total organic carbon and ammonium parameters, which are above the reference values, the reservoir included in the Marginal class specified in the Canadian Water Quality Index. Measures should be taken to protect the aquatic ecosystem to ensure the sustainability of aquaculture and use of irrigation water in the Kılavuzlu dam lake, that has a significant contribution to the provincial economy.

To Cite: Küçükönder M., Kalkan E., Cırık K. Kılavuzlu Baraj Gölü (Kahramanmaraş) Su Kalitesinin Kanada Su Kalite İndeks Sınıfı'na göre Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):118-142.

Giriş

Son yüzyılda dünyada su kullanımı, nüfus artış oranının iki katından daha fazla artmıştır (Piesse, 2020). Demografik büyüme, iklim değişikliği ve ekonomik gelişme, sınırlı su kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşturmaktadır (Steduto ve ark., 2012; Muluk ve ark., 2013). Kısıtlı doğal kaynakların doğrudan veya dolaylı olarak kirletilmesi ile su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ülkemiz için önemli bir konu başlığıdır. On Birinci Kalkınma Planında “çevre ve doğal kaynakların korunması, kalitesinin iyileştirilmesi, etkin, bütünleşmiş ve sürdürülebilir şekilde yönetiminin sağlanması, her alanda çevre ve iklim dostu uygulamaların gerçekleştirilmesi”, olarak çevrenin korunmasına yönelik hedefler net olarak ifade edilmiştir (SBB, 2019). Bu hedefler doğrultusunda ülkemizde suların varlığının yanında kullanılabilir su kaynaklarında su kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi, görev ve yetkileri içerisinde tanımlanan Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde 2021 yılı itibariyle 861 adet baraj faaliyet göstermektedir. Barajlar, morfolojik yapıları, su tutma süresinin kısa olması ve göle deşarj olan suların niteliğine ve niceliğine bağlı olarak daha fazla kirlilik problemi yaşayabilmektedirler (Fakıoğlu ve ark., 2011). Bu nedenle doğal ve yapay göllerde sürdürülebilir su kaynakları yönetimi çerçevesinde su kalitesi parametrelerinin kontrolü gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde yer alan doğal ve yapay göllerde Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen çalışmalar haricinde literatürde, noktasal örnekleme ile fiziko-kimyasal parametrelerin çeşitli tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirildiği çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Baraj göllerinde gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışmalarından bazıları Eber Gölü (Gümüş ve Akköz, 2020) Apa (Mert ve ark., 2008; Yılmaz ve Akköz, 2014), Derbent (Taş, 2006), Selevir (Bulut ve ark., 2011), Borçka (Eryılmaz, 2014), Dicle (Varol, 2015), Demirköprü (Erdoguş, 2016), Germeçtepe (Atea ve ark., 2017), Karacaören 1 (Şener ve ark., 2017), Almus (Polat ve ark., 2018), Karkamış (Tepe ve Kutlu, 2019), Suat Uğurlu (Orak, 2019), Yamula (Kar ve Leblebici, 2020) ve Keban (Topal, 2019; Varol, 2020) olarak sayılabilir. Son yıllarda göl ve baraj gibi su kaynaklarının izlenmesi, noktasal ve yayılı kirlilik kaynaklarının tespiti gibi amaçlarla birçok mekânsal istatistiksel algoritmaları ve haritalama araçlarını barındıran esnek Coğrafi Bilgi Sistemleri araçları su kalitesi izleme çalışmalarının mekânsal boyutunu güçlendirmektedir (Arslan, 2008; Şener ve ark., 2017; Polat ve ark., 2018; Yıldız ve Karakuş, 2018; Davraz ve ark., 2019; Uddin ve ark., 2021). Aynı zamanda yapılan çalışmalarda çok sayıda parametrenin tek değer altında birleştirilmesiyle yüzey sularının tarımsal, kaynak suyu veya içme suyu olarak kullanıma uygunluğunu değerlendirmek amacıyla su kalite indeksleri kullanılmaktadır (Dede ve ark., 2017; Şener ve ark., 2017; Uddin ve ark., 2021). Su kalite indeksleri, sürdürülebilir su yönetimini kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir bir değerler

grubu altında değerlendirme olanağı sunan metodolojik bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Uddin ve ark., 2021).

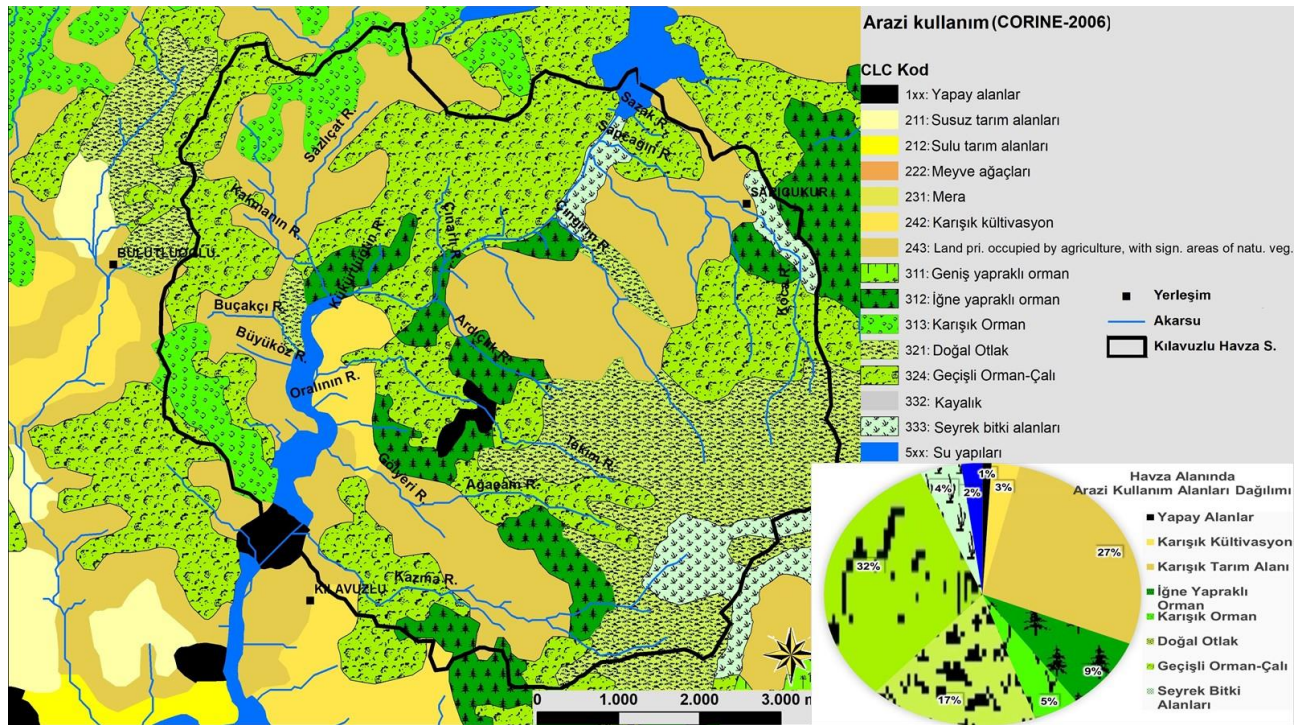
Kahramanmaraş ilinde Sır Barajı ve çeşitli akarsular üzerinde gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır. 2005 yılı Kahramanmaraş ili Çevre Durum raporunda su arıtma tesislerinin kurulması önerilirken 2011 yılında yayınlanan raporda Kahramanmaraş ovasında Karaçay, Erkenez ve Aksu Çaylarında azot türevlerinin içme ve kullanma suyu standartlarına göre sınır değerlerin çok üzerinde ölçüldüğü belirtilmiştir (ÇED, 2005; ÇED, 2011). Bu akarsularda yapılan diğer çalışmalarda kirlilik kaynakları, endüstriyel, evsel, hayvansal ve tarımsal atıklarla ilişkilendirilmiştir (Kara, 2004; Kara ve Şimşekli, 2009; Tanrıverdi ve ark., 2010; ÇED, 2011; ÇED, 2016). 2011 yılında bazı sanayi tesislerinde bireysel atıksu arıtma tesisi kurulduğu diğerleri için ise inşa çalışmalarının başladığı belirtilmiştir. Olgun ve ark. (2011), Ceyhan Havzası Kahramanmaraş ili içerisinde 18 örnekleme noktası belirleyerek nitrit ve amonyum parametrelerine göre II. sınıf su kalitesi tespit etmişlerdir. Aksu Nehri ve Erkenez Çayı üzerindeki ölçüm noktalarında evsel kaynaklı kirleticiler ile endüstriyel kirlilik yüklerinin fazla olduğu belirtilmiştir (Olgun ve ark., 2011). Ceyhan Havzası için hazırlanan Havza Koruma Eylem Planı ise Kılavuzlu Barajı mansap çıkışı-Sır Barajı girişindeki örneklem noktasında kurşun ve bazı kimyasal özellikler açısından II. sınıf olarak tanımlanmıştır (HKEPH-CH, 2010). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2016 yılında hazırlanan rapora göre ise Kahramanmaraş ilinde bulunan Aksu Çayı yan derelerin etkisiyle su kalite sınıfı IV. olarak tespit edilmiştir (CHKÖEP, 2016). Bölgede yapılan Fe, Cu, Zn, Cr ve Ni gibi ağır metal değerleri nedeniyle Sır Baraj Gölü'nde kirlilik yükünün fazla olduğu tespit edilmiştir (Canpolat ve Uzun, 2019). Sır Baraj Göleti'ne deşarj edilen evsel nitelikli atık suların arıtılması amacıyla Avrupa Birliği projesi ile Kahramanmaraş Belediyesi tarafından kurulan kentsel atık su arıtma tesisi 2018 yılı itibariyle faaliyete başlamıştır (ÇED, 2019). Ceyhan Havzası Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde çeşitli su kaynaklarında yapılan çalışmalar bulunmasına karşın Kılavuzlu Baraj Gölü'nün su tutmaya başladığı 2014 yılından itibaren bir çalışma gerçekleştirilmiş (Bozkurt, 2016) ve balık çiftliklerinin su kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Gölün kirlilik durumunu tespit eden ve su kalitesini sınıflandırmayı hedefleyen bir araştırma bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı endüstriyel kirlilik yükü bulunmayan, su ürünleri yetiştiriciliği yapılan tarımsal faaliyet ve kırsal yerleşim etkisindeki Kılavuzlu Baraj Gölü'nde (Şekil 1) seçili parametreler ile 2018 yılı için yüzey su kalitesindeki değişimlerini belirlemek ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında dağılım haritaları oluşturmaktır. Aynı zamanda Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (Resmî Gazete, 2021) uygun olarak kirlilik sınıfının belirlenmesi ve oluşturulan dağılım haritalarından yararlanarak kirletici kaynakları araştırılmasıdır.

Çalışmada hedeflenen ikinci çıktı ise Kanada Su Kalitesi İndeksine (CCME, 2017) göre Kılavuzlu Baraj Gölü'nün su kalitesi sınıfını tespit etmektir. Araştırma dönemi içinde baraj gölünde her bir parametre ölçeğinde oluşturulan su kalite sınıflarının tek su kalite grubunda açıklamaya yardımcı olan indekslerden biri olarak Kanada Su Kalitesi İndeksi (KSKİ) bu çalışmada kullanılmıştır. Parametre ve zamansal (%80 tutarlılık oranı) toleransı yüksek olması (Tri-Star, 2017) ve her parametre için referans

güneyinde Sır Barajı nedeniyle Kılavuzlu Barajı oldukça küçük bir yüzey drenaj alanından etkilenmektedir. Havzanın doğusunda 500 m'den başlayan yükselti Ulucak Tepe'de yaklaşık 1750 m'ye ulaşmaktadır. Havzanın batı bölümünde baraj kıyısından yaklaşık 500 m'den başlayan yükselti doğuya doğru 750 m'lere çıkmaktadır. Göl alanı doğudan Sazak, Sapçağın, Aşağıharap, Çingırın, Güvercinlik, Ardıçlık, Takım, Gölyeri ve Kazma, batısından ise Büyüköz, Buçakçı, Kakmanın, Sazlıçat, Kükürtlüğün, Çınarlı, Mazlıçat mevsimlik akarsuları ile yüzey beslenimi sağlamaktadır.

Akdeniz ikliminin yaşandığı bölgede Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1930-2019 yılları arası Kahramanmaraş (KMAR:17255) istasyonu istatistiklerine göre ortalama sıcaklık en düşük Ocak ayında 4,7 °C iken en yüksek 28,3 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür. Kış aylarında daha fazla olmakla birlikte yıllık toplam yağış miktarı 719,7 mm'dir (MGM, 2020).

Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırması CORINE (Coordination of Information on the Environment-Çevresel Bilginin Koordinasyonu) 2006 yılı verilerine göre havzada sanayi ve yoğun yerleşim alanı bulunmamaktadır (CORINE, 2006). Havzanın %66'sını kaplayan hâkim arazi örtüsünü orman, mera ve geçişli orman niteliğinde doğal bitki örtüsü alanları oluşturmaktadır. Arazi kullanım olarak ise kuru tarım ve bahçe alanları havzanın yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır (Şekil 2 ve 3). Kahverengi Orman Topraklarının hâkim olduğu havzada litoloji olarak Tersiyer yaşlı kireçtaşı ve karasal kırıntılı (kumtaşı, çakıltaşı, çamurtaşı) birimleri gözlenmektedir (Aksay ve ark., 2002). Litolojik olarak ayrışmaya uygun bu birimlerin göl alanı için siltasyon ortaya çıkarma potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 2. Kılavuzlu Barajı Drenaj Havzasına ait CORINE 2006 Arazi Örtü/Arazi Kullanım Haritası.



Şekil 3. Kılavuzlu Barajı havzasındaki arazi kullanım alanları F1) Gölün kuzeyinde gözlenen orman alanı, F2) tarım alanları, F3) karışık kültivasyon alanları.

Drenaj alanının yüzey akım özellikleri incelendiğinde gölün doğusunda kalan alanın hipsometrik integral değeri 0,407 ve akışa katkıda bulunan 100 eşiği üzerindeki akım toplanma uzunluğu 100,5 km'dir (Şekil 4). Batı havza alanında ise hipsometrik integral değeri 0,363 iken 100 eşiği üzerinde kalan akışa katkıda bulunan akım toplanma uzunluğu 50,9 km ile doğu drenaj alanının yaklaşık yarısı kadardır. Hipsometrik eğri grafiğinde (Şekil 4) doğu havzanın hem genç nitelikte olması hem de akım uzunluğunun fazla olması gölün su kalitesi parametrelerinde daha fazla etkin olduğunu göstermektedir. Batı havza alanındaki farklı türdeki ormanlık alanlar (Şekil 3, F1) ve göle yakın kıyı hattında karışık kültivasyon alanlar (Şekil 3, F3) antropojenik etkinliğin fazla olduğunu göstermektedir.

hipsometrik integral analizleri çevresel etmenleri değerlendirmek üzere ArcGIS ortamında gerçekleştirilmiştir.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları (Resmî Gazete, 2020) kapsamında tanımlanan standartlara uygun olarak 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım 2018 tarihlerinde yerinde ölçümler ve yüzey su örnekleri alınmıştır. Örnek alım tarihleri ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında olmasına karşın sürekli ölçüm yapılamaması nedeniyle bu tarihler kullanılarak açıklamalar yapılmıştır. Yerinde ölçümler (pH ve sıcaklık ölçümleri) WTW 330i cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Alınan numuneler aynı gün içinde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında ASRS-300 (4 mm) supresör, iletkenlik dedektörü, IonPac® AG9-HC (4x50mm) guard ve AS9HC (4x250mm) analitik kolon ile donanımlı ICS-5000 model İyon Kromatografisi Cihazında (Dionex, Sunnyvale, CA, ABD) analiz edilmiştir. Numunelerde nitrat (NO_3^- mg N/L), amonyum (NH_4^+ mg N/L), toplam organik karbon (TOK mg/l), inorganik karbon (İK mg/l), toplam karbon (TK mg/l) ve sülfat (SO_4^{2-} mg/l) miktarları tespit edilmiştir. Ofis çalışmalarında GPS koordinatları alınan numune toplama noktaları sayısallaştırılarak vektör veri haline dönüştürülmüştür. Üç dönem için laboratuvar sonuçları veri tabanı oluşturularak GPS konumları ile entegre edilmiştir. Tüm analiz işlemleri ArcGIS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Analizi

Sayısallaştırılan vektör veri ve entegre edilen veri tabanı kullanılarak ters mesafe ağırlıklı (inverse distance weighted: IDW) tekniği ile ölçülen parametreler için mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon tekniği, bilinmeyen konumdaki değerlerin bir ağırlık fonksiyonu kullanılarak bilinen konumlar üzerinden hesaplanmasına dayanan mekânsal deterministik simülasyon algoritmalarından biridir (Philip ve Watson, 1982; Holdaway, 1996; Hudson ve Wackernagel 1994; Burrough ve Mcdonnell, 1998).

$$\hat{Z}(s_o) = \sum_{i=1}^N (d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}) Z(s_i) \quad (1)$$

$\hat{Z}(s_o)$, s_o konumu için tahmin edilecek değer; $Z(s_i)$, s_i konumunda ölçülen değer; N , tahmin konumu; p , aradaki mesafenin artışına bağlı normalize parametre; d_{i0}^{-p} , tahmin edilen konum; (s_o) ve ölçülen konumların (s_i) her biri arasındaki mesafedir (Denklem, 1; Burrough ve Mcdonnell, 1998).

Kanada Su Kalitesi İndeksi (KSKI)

Sürdürülebilir su yönetiminde, kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir olması amacıyla çok sayıda parametre değerlerini, istenen birimler grubu altında birleştirmek üzere su kalite indeksleri kullanılmaktadır (Uddin ve ark., 2021). Literatürde hesaplama yöntemlerine göre farklılık gösteren 21 adet çeşitli su

kalite indeksi bulunmaktadır. Bunlardan yaygın olarak kullanılanlar Horton indeks, Ulusal Sağlık Vakfı Su Kalite İndeksi, İskoç Araştırma Geliştirme Departmanı İndeksi, Malezya Su Kalitesi İndeksi ve Baskaron İndeksi'dir. Tüm su kalitesi indeksleme yöntemlerinde örneklem sayısı, parametre seçimi, örnekleme dönemlerinin belirlenmesi gibi model sonuçlarının doğruluğunu etkileyen belirsizlikler söz konusudur (Uddin ve ark., 2021). Bu nedenle analiz dönemi ve seçilen örneklem büyüklüğünün sonuçlar üzerinde etkilidir (Namugize ve Jewitt, 2018) Göreceli olarak uygulama kolaylığı ve modele dahil edilecek su kalitesi parametrelerinin seçiminde esneklik sağlaması nedeniyle Kanada Su Kalitesi İndeksi (KSKİ) (CCME, 2017; Dede ve Sezer, 2017; Uddin ve ark., 2021) bu çalışmada Kılavuzlu Baraj Gölü'nde tek bir su kalite sınıfı oluşturmak üzere kullanılmıştır. Bu çalışmada 11 örneklem noktasında, altı parametre (sıcaklık, pH, nitrat, amonyum, toplam organik karbon ve sülfat) ve üç dönem (Nisan, Ağustos ve Kasım 2018) için oluşturulan veri seti örneklem noktaları, aylık ve tüm ölçüm değerleri için gruplandırılarak KSKİ sınıfları hesaplanmıştır.

Seçilen KSKİ kalite sınıflarının hesaplanmasında parametre seçiminde esnektir ve parametreler için ağırlık değerlerine gereksinim duymamaktadır (Uddin ve ark., 2021). Kanada Çevre Bakanları Konseyi (CCME) ilk kılavuzunda KSKİ hesaplanması için en az dört parametre ve bu parametrelerin en az dört dönem ölçümü yeterli olacağı (CCME, 2017; Dede ve Sezer, 2017) belirtilmesine karşın bazı durumlarda örneklem dönemlerinde değişiklik yapılabileceği belirtilmektedir (CESİ, 2008). İstisnai durumlarda, örneğin örnekleme maliyetlerinin yüksekliği veya akarsular için soğuk bölgelerde donma ve sıcak bölgelerde kuruma dönemlerinde numune alınamaması, göller için yağışlı dönemler sonrası ilkbahar ve sonbahar olmak üzere yılda iki numune alınmasının yeterli olabileceği vurgulanmaktadır (CESİ, 2008; DDPHE, 2018). Erişimi zor olan bölgelerde yılda dört yerine üç örnek kullanma olasılığı üzerine yapılan çalışma sonucunda örnekleme döneminin azalmasının KSKİ sınıflandırma sonuçlarını önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir (Hamel ve Quiniou, 2007; Tri-Star, 2017). Zamansal ve örneklem sayılarına göre indeksin duyarlılığı üzerine yapılan araştırmalarda mevsimsel ve aylık analiz grupları arasında %80 tutarlılık sağladığı hesaplanmıştır (Tri-Star, 2017). Tunus'ta iki farklı istasyonda, üç dönem (yaz 2015, kış 2015 ve ilkbahar 2016) örneklenen aynı veri setini kullanarak dört farklı su kalitesi indeksinin (KSKİ, Tiwari ve Mishra SKİ, Ramakrishnaiah SKİ ve fuzzy SKİ) zamansal ve mekânsal farklılıklarını test edilmiştir (Kachroud ve ark., 2019). Dört farklı SKİ için parametrelerin birleştirilmesinde kullanılan gruplama süreci (ağırlıklı, logaritmik, uzman görüşü, harmonik kare ortalama, bulanık mantık yaklaşımı) ile ilişkili farklılıkların sonuç indeks sınıfları üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Kachroud ve ark., 2019). Su kaynakları yönetiminde çok-boyutlu KSKİ uygulamasında Abd (2019) iki dönem (Şubat ve Mayıs) veri setini kullanmıştır. Alexakis (2020) havza ölçeğinde bir hidrolojik yıl içinde nemli ve kurak iki dönemi dikkate alarak iki örnekleme periyodu için KSKİ sonuçlarının Yunanistan Yeraltı Suyu Direktifleri 2006/118/EC ile yakın sonuç verdiğini belirtmektedir.

İndeks toplam deney sayısı, referans değerin üzerinde olan başarısız değerler ve sayıları ve başarısız deneylerin sayısı gibi etmenleri kullanarak boyut, frekans ve genlik olarak isimlendirilen üç faktör üzerinden hesaplanmaktadır (CCME, 2017; Uddin ve ark., 2021).

$$KSKİ = 100 - \sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}/1,732 \quad 2$$

Birinci faktör, boyutu temsil eden F1, standartlarda referans kabul edilen değeri aşan parametrelerin toplam parametre içindeki yüzdesidir.

$$F1 = (\text{Başarısız parametrelerin sayısı}/\text{Toplam parametre sayısı}) * 100 \quad 3$$

Frekans olarak adlandırılan ikinci faktör F2 ise çalışma sürecinde yapılan başarısız deneylerin toplam deneyler içindeki yüzdesidir.

$$F2 = (\text{Başarısız deneylerin sayısı}/\text{Toplam deney sayısı}) * 100 \quad 4$$

Genlik faktörü F3 ise her bir parametre ve deney için referans değerlerinden sapmayı normalize ederek üç aşamada hesaplanır. Bu aşamalar:

$$sapma_i = (\text{Başarısız deney değeri}/\text{Referans değer}) - 1 \quad 5$$

Sapmalar toplamının normalize edilmesi (nse)

$$nse = \left(\sum_{i=1}^n sapma_i / \text{Toplam deney sayısı} \right) \quad 6$$

$$F3 = nse / (0,01 * nse + 0,01) \quad 7$$

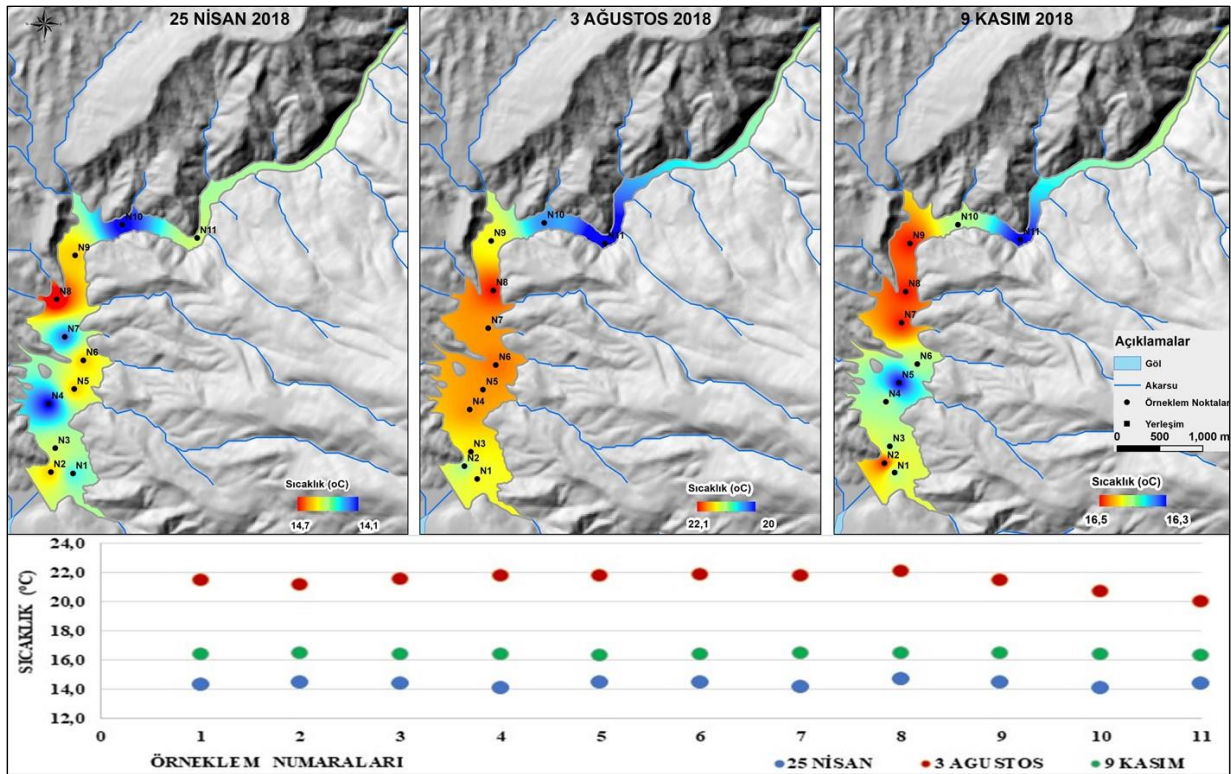
Standart olarak belirlenen referans eşiklerden parametrelerin sapmalarına göre KSKİ 0 ile 100 aralığında mükemmel, iyi, orta, kötü, çok kötü olarak beş sınıf altında toplanmaktadır. Sonuç KSKİ değerleri Tablo 1'deki gibi sınıflandırılmaktadır.

Tablo 1. KSKİ değerlerinin sınıflandırılması

Değer Aralığı	Sınıf
95-100	Mükemmel
80-94,9	İyi
65-79,9	Orta
45-64,9	Kötü
0-44,9	Çok Kötü

Bulgular ve Tartışma

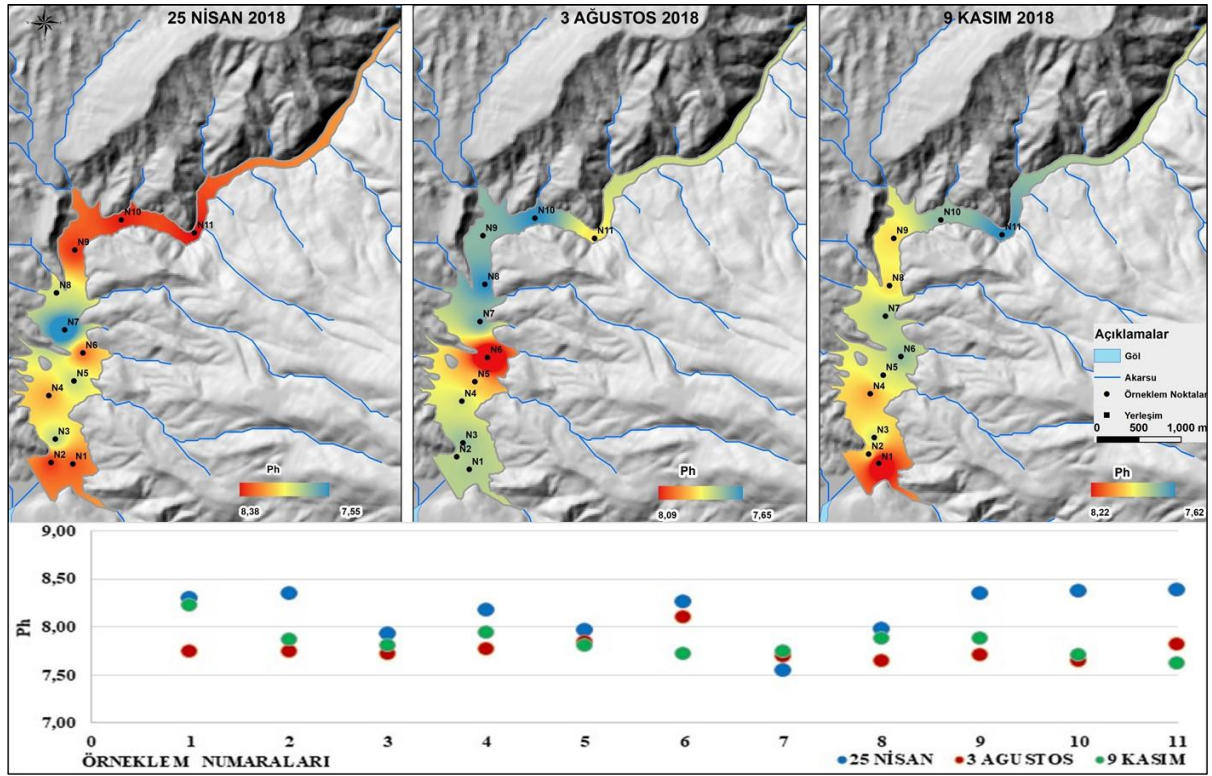
Su kütlelerinde sıcaklık değişiklikleri diğer kimyasal reaksiyonları etkilemesinin yanı sıra mevcut su yaşam formlarını değiştirebilmektedir. Örneğin alg baskınlığı su sıcaklığı arttıkça diyatomlardan yeşil alglere ve sonra mavi yeşil alglere dönüşüm göllerde ötrofikasyon problemi ortaya çıkarabilmektedir (Cao ve ark., 2011; Fakioğlu ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2019). Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde yerinde alınan sıcaklık değerleri ortalamaları ve standart sapma değerleri sırasıyla $14,38\pm 0,18^{\circ}\text{C}$, $21,45\pm 0,58^{\circ}\text{C}$ ve $16,42\pm 0,07^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Göl alanında Ağustos dönemi sıcaklık artmasına karşın Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre üç dönem için I. Sınıf su kalitesine sahiptir. Sıcaklık dağılım haritalarında (Şekil 5) her üç dönem üst çığırda nispeten sığ ve derin vadi arasında kalan N10 ve N11 konumlarında daha düşük sıcaklıklar gözlenmektedir. Nisan ve Kasım dönemlerinde N4 ve N5 konumlarında sıcaklık nispeten daha düşüktür. Düşük olan noktalarda yeraltı suyu veya kaynak suları ile beslenme söz konusu olabilir. 2016 yılı Ağustos dönemi ölçülen sıcaklık ortalaması ($14,65^{\circ}\text{C}$) ile (Bozkurt, 2016) karşılaştırıldığında sıcaklığın 2018 yılında $6,8^{\circ}\text{C}$ arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Kılavuzlu Baraj Gölü 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerinde sıcaklık değerleri mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Hem doğal hem de antropojenik işlemler su kütlelerinin asit baz dengesini değiştirebilmekte ve sucul sistemlerdeki pH ve alkalilik genellikle havzadaki kaya ve toprakların jeokimyasından kaynaklanmaktadır (CCME, 2008). Yerinde ölçülen pH değerleri ortalamaları ve standart sapmaları Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde sırasıyla $8,15\pm 0,18$; $7,77\pm 0,12$ ve $7,84\pm 0,15$ 'dür. pH dağılım

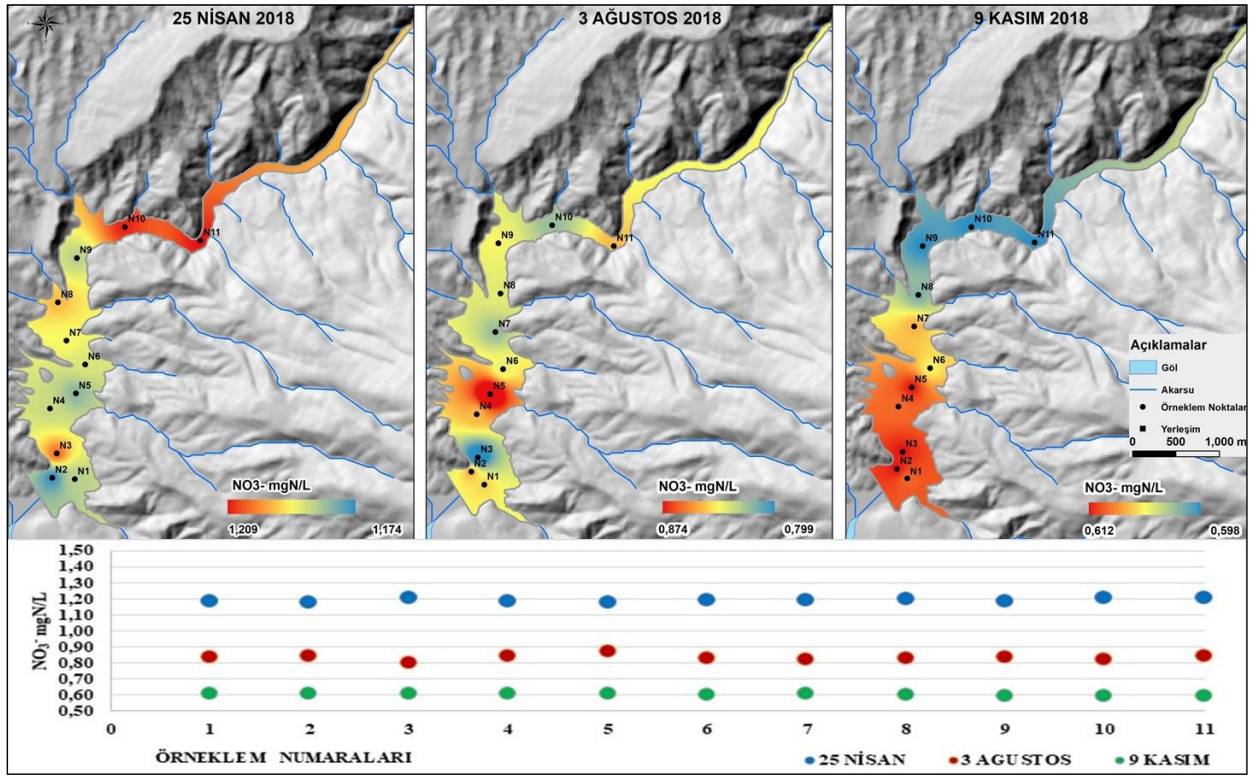
haritalarında (Şekil 6) üç dönem de düzenli bir patern sunmamaktadır. Nisan döneminde memba ve üst çığırda pH yaklaşık 8,4'e ulaşmaktadır. Göl alanında ölçülen farklılıklar Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre üç dönem için I. Sınıf su kalitesi referans değerleri arasında kalmaktadır. Türkiye'deki barajlarda yapılan çalışmalarda suların hafif bazik özellik gösterdiği fakat herhangi bir şekilde kirlenen göl sularında pH değerinin 6-9 değerleri arasında değişebileceği belirtilmiştir (Varol, 2015). Ağ kafes yöntemi ile balık yetiştiriciliği yapılan Kılavuzlu Baraj Gölü'nde demir gibi diğer bileşiklerin sudaki konsantrasyonunun artması pH değerini asidik seviyelere düşürebileceği ve balıklar üzerinde olumsuz etki ortaya çıkarabileceği belirtilmektedir (ÇED, 2016).



Şekil 6. Kılavuzlu Baraj Gölü pH değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekansal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Yüzey suları çoğunlukla 1 mg/l'den az da olsa iz olarak nitrat içermektedirler. Yüzey sularındaki nitrat konsantrasyonları, yeraltı suyu girişinin orantılı olarak daha az olduğu ilkbaharda, karasal akıştan yapılan katkıların önemli olduğu durumlarda veya kış aylarında biraz daha yüksek dalgalanma gösterebilmektedir. Göl yüzey sularında litre başına birkaç yüz mikrogramdan daha yüksek nitrat konsantrasyonları alg patlamalarını tetikleme ve ötrofik koşulları belirtme eğilimini belirtmektedir (CCME, 2008; Nordin ve ark., 2009). İç sularda nitrat oranının artmasına evsel ve endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan zirai gübreler neden olarak gösterilmektedir. Çalışma dönemlerinde nitrat değerleri ortalamaları ve standart sapmaları Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde sırasıyla $8,52 \pm 0,19$ (NO_3^- mg N/L); $0,84 \pm 0,02$ (NO_3^- mg N/L) ve $0,61 \pm 0,01$ (NO_3^- mg N/L)'dür. Göl alanında nitrat Nisan tarihinde 1,17-1,20 (NO_3^- mg N/L), Ağustos tarihinde 0,79-0,87 (NO_3^- mg N/L) ve Kasım tarihinde 0,59-0,62

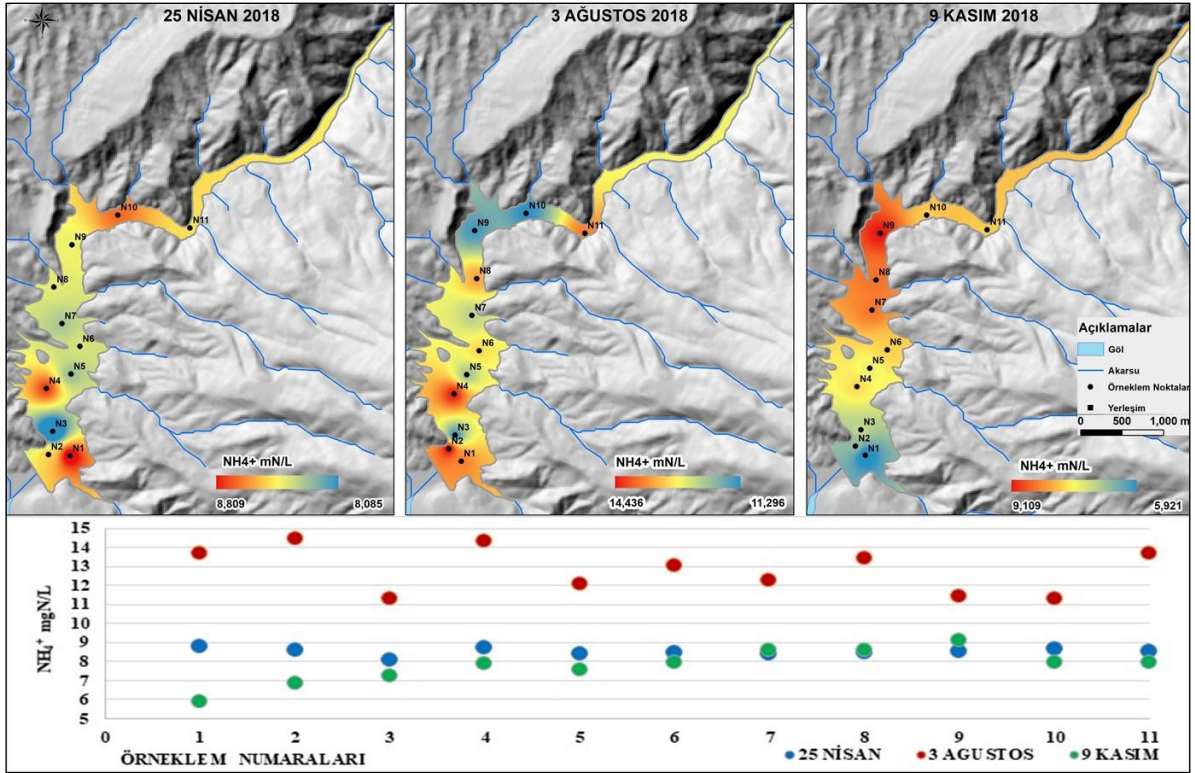
(NO₃⁻ mg N/L) değerleri arasında ölçülmüştür (Şekil 7). Nisan dönemi ortalama nitrat değerinin (8,52 mg/l), 2016 yılında bir istasyonda ölçülen maksimum nitrat (2,8 mg/l) değerinin (Bozkurt, 2016) oldukça üzerine çıktığı görülmektedir. 2005 yılından yapılan ölçüm sonuçlarına göre Tanrıverdi ve ark. (2010), Kılavuzlu istasyonunda nitrat değerlerinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre üç dönem için referans değer 3 mg altında kalarak I. Sınıf su kalitesine sahiptir. 2016 yılı Ceyhan havzası İzleme programı kapsamında yapılan çalışmalara göre Ceyhan Havzası üstü çığırında yüksek kaliteli veya az kirlenmiş su sınıfına alınmıştır (CHKÖEP, 2016). Nitrat dağılım haritalarında (Şekil 7) Ağustos ve Kasım aylarında krete doğru artış eğilimi gözlenmektedir. Kanada Su Kalitesi Standartlarına göre (CCME, 2008) Kılavuzlu Baraj Gölü'nde Nisan nitrat değerleri ötrifikasyona neden olabilecek seviyelere erişmektedir.



Şekil 7. Kılavuzlu Baraj Gölü nitrat değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekansal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Doğal sular tipik olarak 0,1 NH₄⁺ mg N/L altındaki konsantrasyonlarda amonyak ve amonyum bileşikleri içerebilmektedir. Daha yüksek konsantrasyonlar, antropojenik girdinin ve organik kirliliğin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Nordin ve ark., 2009). Amonyum sonuçlarının Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde ortalamaları ve standart sapmaları sırasıyla 8,52±0,19 (NH₄⁺ mg N/L), 12,81±1,13 (NH₄⁺ mg N/L), ve 7,78±0,84 (NH₄⁺ mg N/L) olarak tespit edilmiştir (Şekil 8). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre çok iyi (I. sınıf) sularda Amonyum 0,2 mg/l altında, iyi (II. sınıf) sularda ise 1 mg/l civarında olması istenmektedir. Elde edilen amonyum değerlerine göre Kılavuzlu Baraj Gölü üç dönem için IV. sınıf su kalitesi sınıfına girmektedir.

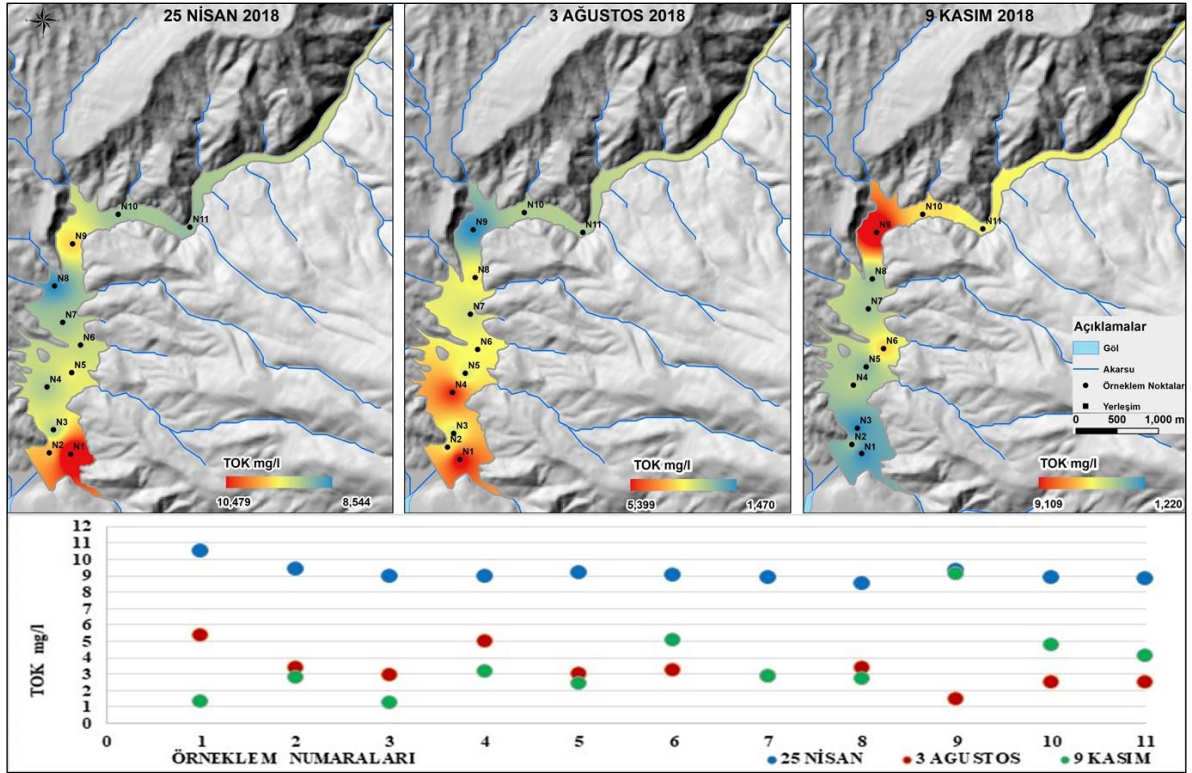
Kılavuzlu Baraj Gölü'nde amonyum kıta içi sulara 1 NH_4^+ mg N/L'in altında olması gereken miktarın oldukça üzerindedir. Üç dönemde N1, N2, N3 ve N4 lokasyonları için yüksek olmakla birlikte amonyum dağılımı düzenli bir patern sunmamaktadır (Şekil 8). Fakat Ağustos dönemi için konsantrasyon dağılımlarının alansal olarak değişim trendi daha fazladır. Bazik koşullar ve yüksek sıcaklığa bağlı olarak amonyumun amonyağa dönüşümü sucul ekosistem üzerinde toksik etki oluşturabilmektedir (Atea ve ark., 2017). Germeçtepe (Atea ve ark., 2017), Derbent (Taş, 2006), Apa (Mert ve ark., 2008), Selevir (Bulut ve ark., 2011) ve Karkamış (Tepe ve Kutlu, 2019) baraj göllerinde amonyum değerlerinin en az 0 en fazla 3 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. Kılavuzlu Barajındaki amonyum değerleri, yapılan bu çalışmalardan oldukça yüksek bir aralıkta seyretmektedir.



Şekil 8. Kılavuzlu Baraj Gölü amonyum değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Kirlenmemiş sulara, topraktaki organik madde, sucul bitki örtüsü, suda yaşayan organizmalar ve yağış organik karbonun başlıca kaynaklarıdır. Toplam organik karbon (TOK), ölçülen suyun türüne bağlı olmakla birlikte aynı zamanda yağış, mevsim, sıcaklık, tuzluluk, pH, mikrobiyal aktivite ve çevredeki bitki örtüsü gibi çeşitli parametrelerden de etkilenmektedir. Sonuç olarak, TOK değeri oldukça değişkendir ve çoğunlukla sulara organik kirliliğin bir göstergesi olarak incelenirler (Visco ve ark., 2005; Chen ve ark., 2015): Yer altı veya deniz sularında 1 mg/l 'den az, göl veya nehir sularında $2\text{--}10 \text{ mg/l}$ 'e, bataklık ve bataklıklarda 10 mg/l 'e kadar değerler alabilmektedir (Visco ve ark., 2005). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde (Resmî Gazete, 2021) toplam organik karbon, inorganik karbon ve organik karbon değerleri ile ilgili bir referans limit belirtilmemektedir. Yönetmelikte dikkat

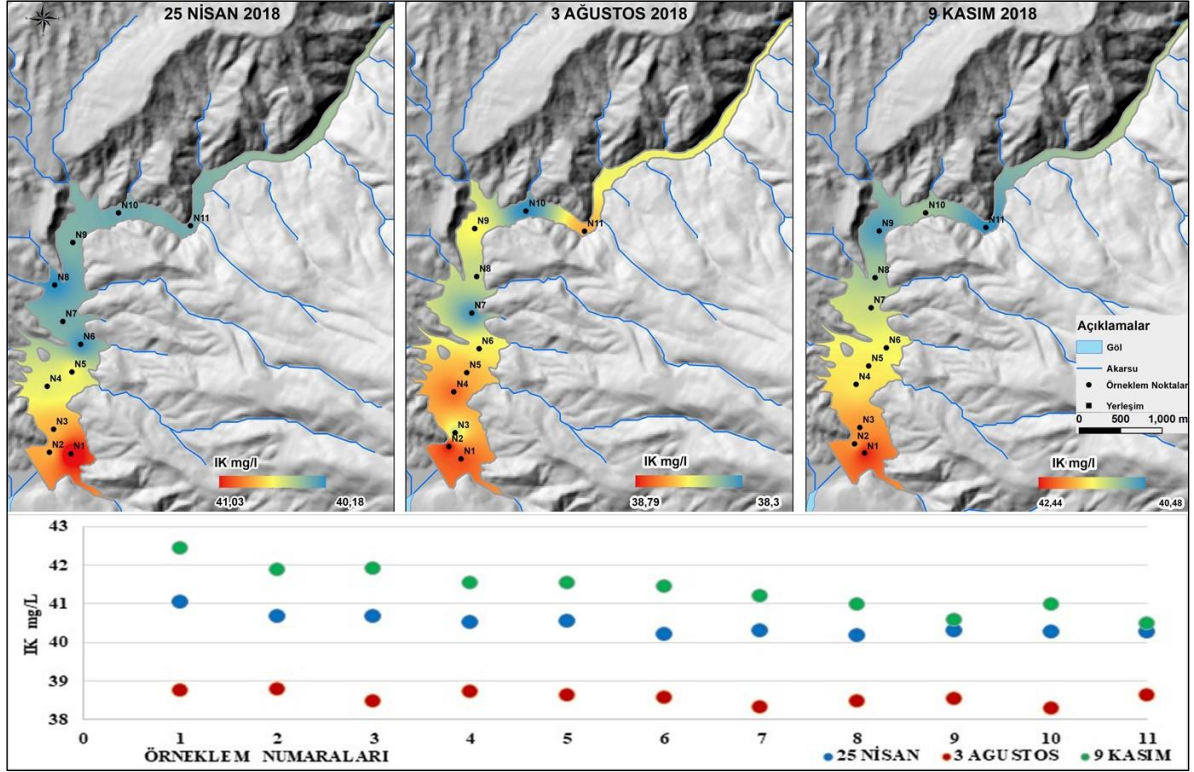
edilmesi gereken koşullar arasında karbon kalıntılarının bulunmaması şeklinde bir değerlendirme yapılmıştır. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Ceyhan Havzası raporunda I sınıf sular için 5 mg/l, II sınıf sular için 8 mg/l, III sınıf sular için 12 mg/l olarak belirtilmektedir (HKEPH-CH, 2010). Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde TOK değerleri ortalamaları ve standart sapmaları sırasıyla $9,14 \pm 0,49$ mg/l, $3,24 \pm 1,05$ mg/l ve $3,60 \pm 2,10$ mg/l olarak hesaplanmıştır. TOK dağılım haritalarında (Şekil 9) Nisan ve Kasım dönemlerinde N1 ve N2 konumlarındaki memba bölümüne yakın konumlarda daha fazla olduğu gözlenirken Kasım tarihinde yukarı çığırda N9 konumunda yüksek değerler gözlenmektedir. Ağustos ve Kasım dönemleri için I. Sınıf su olarak tanımlanabilmesine karşın Nisan dönemi için su kalitesi III. sınıftır.



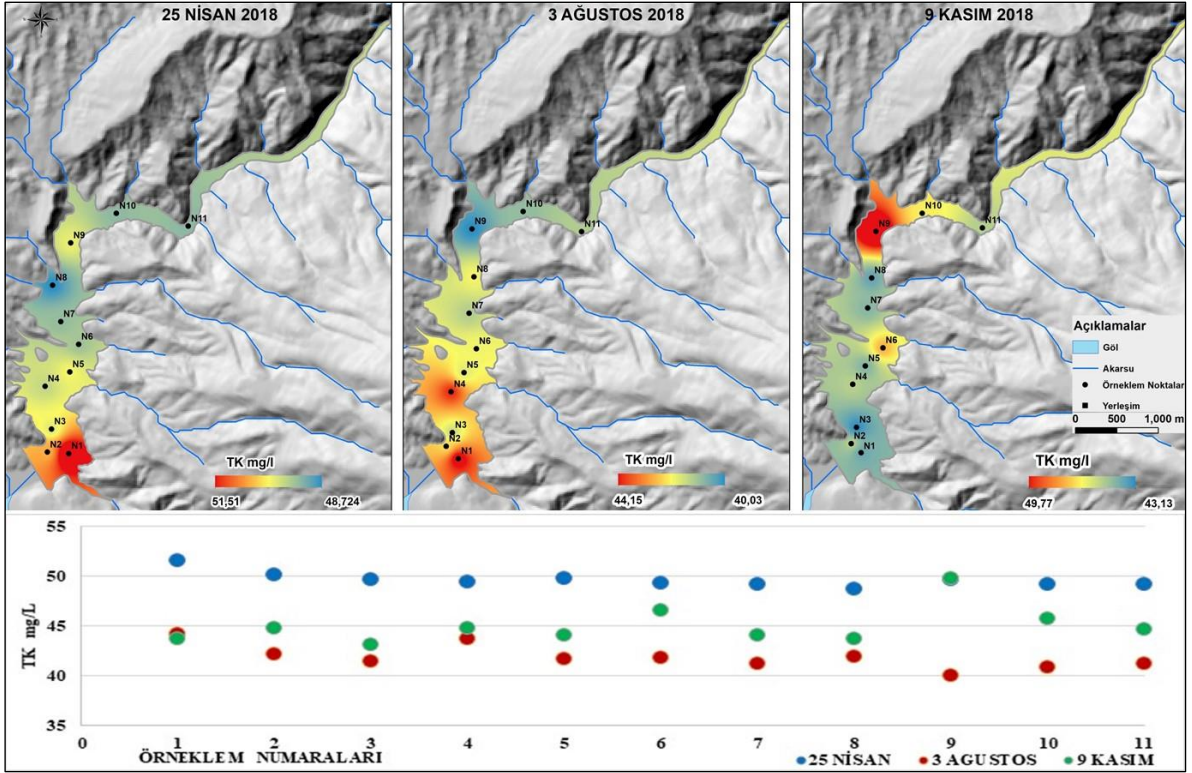
Şekil 9. Kılavuzlu Baraj Gölü toplam organik karbon değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

İnorganik karbon bileşikleri temel olarak karbonatlar, bikarbonatlar ve karbonik asitten kaynaklanmaktadır. İnorganik karbonun varlığı suyun sertliğini etkilemesi nedeniyle suyun evsel ve endüstriyel kullanımları üzerinde zararlı etkilere sahip olabilmektedir. Yüzey suyundaki toplam inorganik karbon konsantrasyonları, daha fazla yeraltı suyu akışı nedeniyle genellikle düşük deşarj dönemlerinde daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (CCME, 2008). İnorganik karbon (İK) Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla $40,45 \pm 0,25$ mg/l, $38,56 \pm 0,15$ mg/l ve $41,36 \pm 0,56$ mg/l ölçülmüştür (Şekil 10). Üç dönem için düzenli bir patern gösteren inorganik karbon dağılımı kret bölümüne yakın ve derin alanlarda yüksek konsantrasyona

sahip olduğu gözlenmektedir. Göl drenaj alanında özellikle doğu bölüm kırıntılı ve karbonat kayalar ve kireçtaşı litolojisine sahip olması İK değerlerinde etkin kaynak oluşturduğunu göstermektedir. Göl alanında toplam karbon (TK) ortalama ve standart sapma değerleri Nisan, Ağustos ve Kasım dönemleri için sırasıyla $49,59 \pm 0,25$ mg/l, $41,81 \pm 1,14$ mg/l, $44,97 \pm 0,56$ mg/l olarak tespit edilmiştir (Şekil 11). Toplam karbon dağılım haritalarında Nisan ve Ağustos dönemlerinde memba kısmına doğru yüksek değerler gözlemlenirken Kasım döneminde üst çıkırda TK konsantrasyonu daha fazla gözlenmektedir.



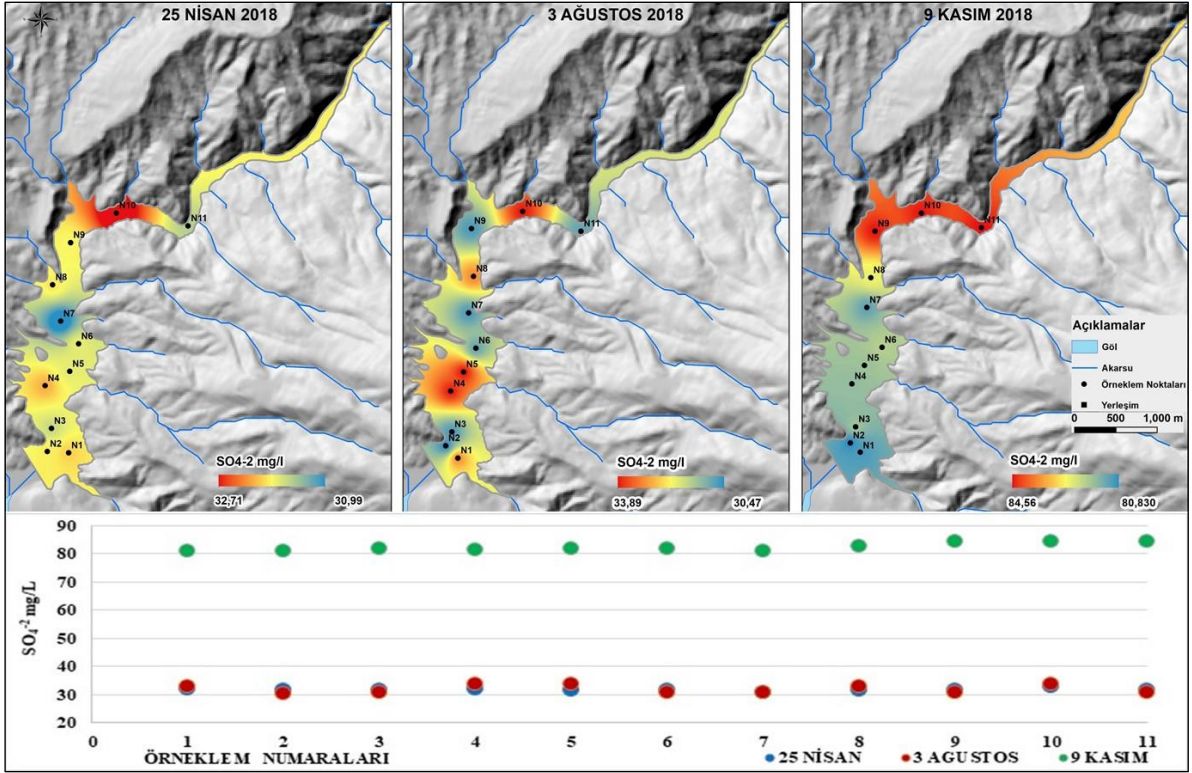
Şekil 10. Kılavuzlu Baraj Gölü inorganik karbon değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi



Şekil 11. Kılavuzlu Baraj Gölü toplam karbon değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Sülfatlar, şeyller de dahil olmak üzere çoğu tortul kayadan, jips ve anhidrit gibi sülfat içeren minerallerin ayrışması sonucu su ortamlarına katılmaktadır. Çözünmüş SO_4^{-2} 'nin ana kaynakları şunlardır: (1) piritin oksidasyonu; (2) toprakta organik olarak bağlı kükürtün mineralizasyonu; (3) yağmur suyu ve (4) tarımsal ve endüstriyel drenajlar ve diğer doğal kaynaklar (Robinson ve Bottrell, 1997). Sülfat konsantrasyonları normalde yüzey sularında 10 ile 80 mg/l arasında değişmektedir (CCME, 2008). Varol (2020) ülkemizdeki baraj göllerinde sülfat kaynaklarına göre değerler oldukça farklılık gösterebileceğini belirtmektedir. Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde alınan numunelerde sülfat (SO_4^{-2}) ortalamaları ve standart sapmaları sırasıyla $31,79 \pm 0,39$ mg/l, $31,98 \pm 1,45$ mg/l ve $82,40 \pm 1,39$ mg/l olarak ölçülmüştür (Şekil 12). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre sınıflamada kullanılmayan sülfat parametresi Kılavuzlu göl alanında Kasım dönemi 80 mg/l'nin üzerine çıkmaktadır. Sülfat dağılım haritalarında her üç dönem üst çığırda (N10) nispeten sığ alanda yüksek konsantrasyon gözlenmektedir (Şekil 12). Farklı olarak Ağustos döneminde N4 ve N5 konumlarında sülfat miktarında artış gözlenmiştir. Baraj gölünün kuzeyinde N10 noktasına yakın olan Kükürtlüğün Deresi civarında pirit içeren kayaların varlığı ve diğer sülfat kaynaklarının bu değerlere etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Kılavuzlu Baraj Gölü'nde 11 örneklem noktasından alınan sonuçlar için sıcaklık, pH, nitrat, amonyum, toplam organik karbon ve sülfat parametrelerinde sırasıyla 25 (°C), 8,5, 10 (NO_3^- mg N/L), 1 (NH_4^+ mg N/L), 4 (mg/l) ve 150 (mg/l) referans değerleri kullanılarak Kanada Su Kalitesi İndeksi uygulanmıştır.



Şekil 12. Kılavuzlu Baraj Gölü sülfat değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Tüm örneklem noktalarında, ay gruplarında ve tüm veri setinde kötü (KSKİ 45-64,9) su kalite sınıflaması hesaplanmıştır (Tablo 2). En az dört parametre tüm gruplamalarda karşılanırken örneklem noktaları (istasyon grupları) en az dört örnek karşılanmamaktadır. Bu tür parametre veya örneklem sayısının en az 4 olma koşulunu sağlamayan durumlarda literatürde önerilen F1 (boyut) devre dışı tutularak modifiye-KSKİ sınıfları hesaplanabilmektedir (Davies 2006; DDPHE, 2018). F1 devre dışı bırakılarak yapılan hesaplama sonuçlarında, ortalama %5'lik bir artış gerçekleşmesine karşın sınıf değerleri aynı grupta (kötü) kalmaktadır. KSKİ değerleri IDW tekniği ile haritalandırılarak göl alanında standart sapma aralıklarına göre dört gruba ayrılmıştır. Kötü sınıfı içerisinde N9, N10 ve N11 konumlarının yer aldığı üst çığır değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 13). Tüm ölçüm noktalarında ve farklı tarihlerde amonyum ve TOK değerleri referans değerinin altında kalmıştır. KSKİ sonuçları Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Resmî Gazete, 2021) ile karşılaştırıldığında Kılavuzlu Baraj Gölü su kalitesinin kirlenmiş su sınıfına dahil edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 2. Kılavuzlu Baraj Gölü örneklem noktalarında Kanada Su Kalite İndeksi Sonuçları

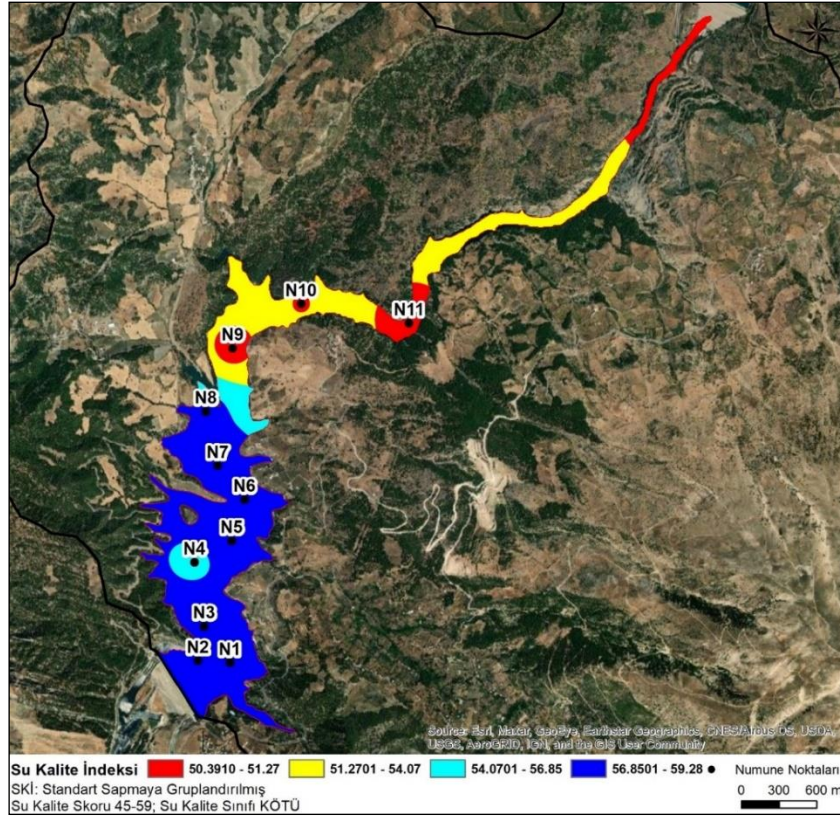
Veri Seti Grupları	F1 (Boyut)	F2 (Frekans)	F3 (Genlik)	En az veri seti gereksinimi (4 Değişken)		KSKİ	Sınıf		
				En az 4 Parametre	En az 4 Örnek			M-KSKİ	Sınıf
Tüm Veri Seti	33	25	61	Karşılar		58	Kötü		
Ay Grupları				En az 4 Parametre	En az 4 Örnek	KSKİ	Sınıf		
Nisan	33	33	59	Karşılar (6)	Karşılar (11)	56	Kötü		
Ağustos	33	20	66	Karşılar (6)	Karşılar (11)	56	Kötü		
Kasım	33	23	54	Karşılar (6)	Karşılar (11)	61	Kötü		
İstasyon Grupları				En az 4 Parametre	En az 4 Örnek	KSKİ	Sınıf	M-KSKİ	Sınıf
N1	33	28	60	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	62	Kötü
N2	33	22	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	63	Kötü
N3	33	22	58	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	59	Kötü	64	Kötü
N4	33	28	62	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	56	Kötü	61	Kötü
N5	33	22	59	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	59	Kötü	64	Kötü
N6	33	28	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	61	Kötü
N7	33	22	60	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	63	Kötü
N8	33	22	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	63	Kötü
N9	33	28	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	61	Kötü
N10	33	28	59	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	62	Kötü
N11	33	28	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	61	Kötü

M-KSKİ: Modifiye-Kanada Su Kalitesi İndeksi

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma Kılavuzlu Baraj Gölünde 2018 yılı Nisan, Ağustos ve Kasım aylarında yapılan ölçümlerin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Resmî Gazete, 2021) ve Kanada Su kalitesi İndeksi (KSKİ)'ne göre değerlendirmesini ve CBS ortamında haritalandırılmasını içermektedir. 2018 yılı ölçüm dönemi için KSKİ kötü sınıfta yer almaktadır. Uzun dönem su kalitesi ölçümleri bulunmayan baraj gölünde 2016 yılında yapılan bir çalışma sonuçları (Bozkurt, 2016) ile nitrat değerleri karşılaştırılabilmiş ve nitrat değerlerinde artış tespit edilmiştir. Endüstriyel faaliyetin gerçekleşmediği seyrek kırsal yerleşme ve tarımsal faaliyetin yürütüldüğü havzada 2014 yılında su tutmaya başlayan gölün kısa sürede çevresel koşullardan etkilendiği görülmüştür.

Sıcaklık, pH, nitrat değerleri açısından referans değerler içerisinde kalmasına karşın amonyum, sülfat ve toplam organik karbon değerlerinin sucul canlılar için olumsuz etki oluşturma potansiyeli söz konusudur. Amonyum miktarının tarımsal amaçlı suni gübre kullanımından veya balık yetiştiriciliğinde yüksek azot bileşenli yem kullanımından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İl ekonomisine önemli katkısı bulunan su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olması adına su ekosistemini korumaya yönelik çevresel detaylı izleme çalışmalarının yapılması ve gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 13. Kılavuzlu Baraj Gölü Kanada Su Kalite İndeksi (KSKİ) Dağılım Haritası.

Baraj gölünde sülfat değerlerinin yüksek olması nedeniyle sülfat katılımının belirlenmesi amacıyla bölgede yan kollarda ve kaynaklarda jeolojik özelliklerin incelenmesine ve detaylı jeokimyasal analizlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Özellikle mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde karar vericilerin hızlı aksiyon gösterebilmesi Kılavuzlu barajı gibi çok fonksiyonlu kullanım alanları (tarımsal sulama, su sporları, su ürünleri yetiştiriciliği, elektrik üretimi) için uygun su kalitesi indeks yönteminin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. 2018 yılında üç dönem için yapılan bu çalışmadan alınan sonuçlar doğrultusunda Kılavuzlu Baraj Gölü limnolojik yapısının daha hassas değerlendirilmesi, hidrolojik çevrimlerin zamansal etkisinin tespit edilmesi ve bölgeye uygun su kalitesi indeksleme yönteminin seçilebilmesi adına izleme süresinin sürekli (en az 12 ay) ve daha fazla parametre ile gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

CBS tabanlı mekânsal analizler ile üretilen dağılım haritalarına göre sıcaklık değerlerinde hem gölün hem de havzanın morfolojik özelliklerinin önemli etkisi olabileceği, özellikle amonyum değerlerinin balık çiftlikleri ve tarım alanlarına yakın alınan örneklerde (N1, N2, N3 ve N4) fazla olduğu, sülfat kaynaklarının havzanın üst çıkırından katılım gösterdiği, karbon bileşenlerinin gölün krete yakın ve orta kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2018/1-22M proje numaralı “Kahramanmaraş Kılavuzlu Baraj Gölünde Su Kalitesinin İzlenmesi” konusu ile ilgili olup, ilgili birimce desteklenmiştir. Aynı zamanda bu çalışma süresince laboratuvar çalışmaları esnasında yardımcı olan Vildan Akgül ve diğer laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim. Makalenin düzeltilmesinde yapıcı yorumları ile yönlendirici olan hakemlere teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

1. Yazar makaleye %60 (CBS ve KSKİ analizleri, makalenin yazılması), 2. Yazar makaleye %25 (Saha örnekleme ve makalenin yazılması) ve 3. Yazar makaleye %15 (laboratuvar analizleri) oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Abd MH. Development of a multilateral Canadian Water Quality Index (C-WQI) for water supply applications. *EAS Journal of Humanities and Cultural Studies* 2019; 1(1): 64-69.
- Aksay A., Altun İ., Arda O., Aslaner M., Aslantürk M., Atabey E., Atan O., Ateş Ş., Ayhan A., Baskurt M., Baştaoğlu D., Baydar O., Beğenilmiş S., Bilgin AZ., Bilgin ZR., Bilginer E., Yalçın S., Yalçinkaya AF., Yergök M., Yıldırım Y., Yılmaz E., Yiğitbaş A., Yurtsever ZV. MTA 500bin jeoloji haritaları Hatay paftası. Maden Tetkik Arama Müdürlüğü, 2002; Ankara, Türkiye.
- Alexakis DE. Meta-evaluation of water quality indices. application into groundwater resources. *Water* 2020; 12(7): 1890.
- Arslan O. Su kalitesi verilerinin CBS ile çok değişkenli istatistik analizi Porsuk Çayı örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* 2008; 99: 5-15.
- Atea EAH., Kadak AE., Sönmez AY. Germeçtepe baraj gölünün (Kastamonu-Daday) bazı fiziko-kimyasal su kalite parametrelerinin incelenmesi. *Alınleri Ziraat Bilimler Dergisi* 2017; 32(1): 55-68.
- Bozkurt A. Zooplankton of Kılavuzlu Dam Lake (Kahramanmaraş) and the effect of cage fish farming on water quality and zooplankton fauna of the Dam Lake. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research* 2016; 2(3): 97-108.
- Bulut S., Mert R., Solak K., Konuk M. Selevir baraj gölünün bazı limnolojik özellikleri. *Ekoloji* 2011; 20(80): 13-22.

- Burrough PA., Mcdonnell RA. Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, Oxford 1998.
- Canpolat Ö., Uzun SK. Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'nde meydana getirdiği ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 8(3): 816-825.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian environmental quality guidelines, 2008, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index, User's Manual – 2017 Update. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Cao C., Zheng B., Chen Z., Huang M., Zhang J. Eutrophication and algal blooms in channel type reservoirs: A novel enclosure experiment by changing light intensity. Journal of Environmental Sciences 2011; 23(10): 1660-1670.
- Canadian Environmental Sustainability Initiative (CESI) Water Team, The WQI approach: science and program development challenges. Freshwater quality indicator, internal program review 2005-2008, October 2008. Environment Canada.
- Ceyhan Havzası Kirlilik Önleme Eylem Planı (CHKÖEP). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, Rapor 2016.
- Chen M., Zeng G., Zhang J., Xu P., Chen A., Lu L. Global landscape of total organic carbon, nitrogen and phosphorus in lake water. Scientific reports 2015; 5(1): 1-7.
- CORINE. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Arazi Kullanım-Arazi Örtüsü haritası, 2006. <http://corinecbs.tarimorman.gov.tr/corine> Erişim Tarihi: 10 Mart 2018.
- ÇED, Kahramanmaraş İli Çevre Durum Raporu. Çevresel Etki Değerlendirme Hizmetleri ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kahramanmaraş Valiliği; 2005, 2011, 2016, 2019.
- Davies JM. Application and tests of the Canadian Water Quality Index for assessing changes in water quality in lakes and rivers of Central North America. Lake and Reservoir Management 2006; 22(4): 308-320.
- Davraz A., Sener E., Sener S. Evaluation of climate and human effects on the hydrology and water quality of Burdur Lake. Turkey. Journal of African Earth Sciences 2019; 158: 103569.
- Denver Department of Public Health & Environment (DDPHE). Water Quality in Lakes and Streams, Water Quality Reports and Data, Water Quality Index Methodology. FINAL 7/31/18. 2018. Denver, Amerika.
- Dede ÖT., Sezer M. Aksu çayı su kalitesinin belirlenmesinde Kanada su kalitesi indeks (CWQI) modelinin uygulanması. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2017; 32(3): 909-917.
- Erdoğan M. Demirköprü baraj gölünün bazı fizikokimyasal parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2016, İzmir.

- Eryılmaz H., İpek Şİ., Çelik BY. Borçka Baraj Gölü (Artvin) su kalitesinin araştırılması. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2014; 033: 1-8.
- Fakıoğlu Ö., Atamanalp Ö., Demir N. Baraj göllerinde toksik mavi-yeşil algler. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi 2011; 3(2): 65-71.
- Gümüş NE., Akköz C. Eber Gölü (Afyonkarahisar) su kalitesinin araştırılması. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research 2020; 6(2): 153-163.
- Hamel M., Quiniou L., Behavioural study on the Water Quality Index of the Canadian Council of Ministers of the Environment. Environment Accounts and Statistics Technical Paper Series Volume 2007, number 3, catalogue number 16-001-MWE. 2007, Canada.
- Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Ceyhan Havzası (HKEPH-CH). TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü 2010, Gebze.
- Holdaway MR. Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using kriging. Climate Research 1996; 6(3): 215-225.
- Hudson G., Wackernagel H. Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland. International Journal of Climatology 1994; 14(1): 77-91.
- Kachroud M., Trolard F., Kefi M., Jebari S., Bourrié G. Water quality indices: Challenges and application limits in the literature. Water 2019; 11(2): 361.
- Kar M., Leblebici Z. Su rezervuarlarının kalitesinin değerlendirilebilmesi için çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kullanılması: Yamula Baraj Gölü örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 20(2): 189-195.
- Kara C., Çömlekçioğlu U. Karaçay (Kahramanmaraş)'ın kirliliğinin biyolojik ve fiziko-kimyasal parametrelerle incelenmesi. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 2004; 7(1): 1-8.
- Kara C., Şimşekli M. Erkenez Çayı (Kahramanmaraş)'ın kirliliğinin fiziko-kimyasal parametrelerle incelenmesi. 3. Çevre Sorunları Kongresi, 15-16 Mayıs 2008, sayfa no:137-141, İstanbul.
- Mert R., Bulut S., Solak K. Apa Baraj Gölü (Konya)'nın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2008; 8(2): 1-10.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikleri (MGM), 2020. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=K.MARAS> Erişim Tarihi: 10 Ağustos 2020.
- Muluk ÇB., Kurt B., Turak A., Türker A., Çalışkan MA., Balkız Ö., Gümrükçü S., Sarıgül G., Zeydanlı U. Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: çevresel perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi 2013.
- Namugize JN., Jewitt GPW. Sensitivity analysis for water quality monitoring frequency in the application of a water quality index for the uMngeni River and its tributaries, KwaZulu-Natal, South Africa. Water SA 2018; 44(4): 516-527.
- Nordin RN., Pommen LW., Meays CL. Water quality guidelines for nitrogen (nitrate, nitrite, and ammonia). Water Stewardship Division, Ministry of Environment, Province of British Columbia, Canada 2009; 1-29.

- Olgun E., Öksüz S., Çağlayan HS., Korkmaz F., Kumru C. Havzalarda örnekleme noktası belirleme ve su kalitesi izleme raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı, Çevre Referans Laboratuvarı 2011, Ankara.
- Orak TG. Suat Uğurlu Baraj Gölü'nün (Samsun) su kalitesi ve trofik seviyesinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü sayfa no:129, Ordu, 2019.
- Philip GM., Watson DF. A precise method for determining contoured surfaces. The APPEA Journal, 1982; 22(1): 205-212.
- Polat F., Dal T., Karataş İ., Buhan E. Temperature and dissolved oxygen stratification in Almus dam lake on Yeşilirmak river (Turkey) and its GIS maps. Ecological Life Sciences 2018; 13(2): 74-86.
- Resmî Gazete. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği numune alma ve analiz metotları tebliği. 2020; (RG-7/10/2020-31267).
- Resmî Gazete. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik. 2021; (RG-16/6/2021-31513).
- Piesse M. Global water supply and demand trends point towards rising water insecurity. Future Directions International Pty Ltd. 27 Şubat 2020 (online: <https://www.futuredirections.org.au/publication/global-water-supply-and-demand-trends-point-towards-rising-water-insecurity/>) Erişim Tarihi: 01.09.2021.
- Robinson BW., Bottrell SH. Discrimination of sulfur sources in pristine and polluted New Zealand River catchments using stable isotopes. Applied Geochemistry 1997; 12(3): 305-319.
- Steduto P., Faurès JM., Hoogeveen J., Winpenny J., Burke J. Coping with water scarcity, an action framework for agriculture and food security, FAO Water Reports, 2012.
- Şener Ş., Şener E., Davraz A. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). Science of the Total Environment 2017; 584: 131-144.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (SBB), On birinci kalkınma planı 2019-2023. Temmuz 2019, Ankara.
- Tanrıverdi Ç., Alp A., Demirkıran AR., Üçkardeş F. Assessment of surface water quality of the Ceyhan River basin, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 2010; 167(1): 175-184.
- Taş B. Derbent Baraj Gölü (Samsun) su kalitesinin incelenmesi. Ekoloji 2006; 16(61): 6-15.
- Tepe R., Kutlu B. Examination water quality of Karkamış dam lake. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 2019; 7(3): 458-466.
- Topal M. Elazığ Keban Baraj gölü Pertek bölgesi su kalitesinin bazı parametrelerle belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 8(2): 561-568.
- Tri-Star Environmental Consulting. Synthesis Of Research And Application Of The CCME Water Quality Index. CCME Project No. 520-2012 2017.
- Turgut A., Küçükönder M. Kahramanmaraş İli Barajlarında Landsat 8 (OLI) kullanarak su kalitesinin izlenmesi. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, 2016, sayfa no:640-649, Adana.
- Uddin MG., Nash S., Olbert AI. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. Ecological Indicators 2021; 122: 107218.

- Varol M. Dicle Baraj gölü su kalitesinin su kirliliği kontrolü yönetmeliği'ne göre değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2015; 2(1): 85-91.
- Varol M. Spatio-temporal changes in surface water quality and sediment phosphorus content of a large reservoir in Turkey. *Environmental Pollution* 2020; 259, 113860.
- Visco G., Campanella L., Nobili V. Organic carbons and TOC in waters: an overview of the international norm for its measurements. *Microchemical Journal* 2005; 79(1-2): 185-191.
- Yıldız S., Karakuş CB. Sivas 4 Eylül Barajı su kalitesi-seviye ilişkisinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ile haritalanması. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 2018; 6(1): 64-75.
- Yılmaz ÖB., Akköz C. Investigation of water quality of Apa dam lake (Çumra-Konya) and according to the evaluation of PCA. *Biological Diversity and Conservation* 2014; 7(2): 136-147.
- Zhang Y., Peng C., Wang J., Huang S., Hu Y., Zhang J., Li D. Temperature and silicate are significant driving factors for the seasonal shift of dominant diatoms in a drinking water reservoir. *Journal of Oceanology and Limnology* 2019; 37(2): 568-579.

Elevated Temperature Resistance of Mortars Including Ground Granulated Blast Furnace Slag, Fly Ash and Silica Fume

Murat ÖZTÜRK^{1*}

¹İskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 31200, Hatay, Turkey

¹<http://orcid.org/0000-0003-3389-4883>

*Corresponding author: murat.ozturk@iste.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 11.08.2021

Accepted: 27.10.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Mortar

Cement

Elevated heat resistance

Fly ash

Slag

Silica fume

In the current study, elevated heat resistance of the mortars including 15% fly ash, ground granulated blast furnace slag and silica fume is investigated. Fly ash, ground granulated blast furnace slag and silica fume are replaced with cement past by weight in the prepared mortar samples. The prepared samples are kept in a furnace for 2 hours at 400 °C and 800 °C to find out effect of elevated temperature on compressive strength of the mortars. Compressive strength before and after heat exposure are measured in terms of evaluating elevated heat resistance. Control sample that does not contain any admixture, mortar including fly ash, mortar including ground granulated blast furnace slag and mortar including silica fume has 30.81 MPa, 33.62 MPa, 43.91 MPa and 51.83 MPa compressive strength before heat exposure, respectively. Compressive strength of the same samples after 400 °C and 800 °C heat exposure are 25.64 MPa and 8.12 MPa, 28.91 MPa and 11.56 MPa, 34.37 MPa and 15.21 MPa and 39.78 MPa and 21.85 MPa, respectively. The alteration of heat resistance of the mortars with fly ash, ground granulated blast furnace slag and silica fume is attributed to puzzolanic behavior of the used materials. These materials react with Ca(OH)₂ in cement and produce extra tobermorite gel (CSH phase) that provides extra durability to the composite.

Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu, Uçucu Kül ve Silika Dumanı İçeren Harçların Yüksek Sıcaklık Direnci

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.08.2021

Kabul tarihi:27.10.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar kelimeler:

Harç

Çimento

Yüksek sıcaklık direnci

Uçucu kül

Cüruf

Silis dumanı

ÖZ

Bu çalışmada, %15 oranda uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren harçların yüksek sıcaklığa karşı dirençleri araştırılmıştır. Hazırlanan harç numunelerinde uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve silis dumanı ağırlıkça çimento ile yer değiştirilmiştir. Yüksek sıcaklıkların harç basınç dayanımlarına etkisini bulmak için üretilen numuneler 400 °C ve 800 °C'de 2 saat süreyle etüvde tutulmuştur. Harç numunelerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalmadan önceki ve sonraki basınç dayanımları, harçların yüksek sıcaklık dirençlerinin değerlendirilmesi için ölçülmüştür. Herhangi bir katkı maddesi içermeyen harç, uçucu kül içeren harç, öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren harç ve silis dumanı içeren harç, ısıya maruz kalmadan önce sırasıyla 30.81 MPa, 33.62 MPa, 43.91 MPa ve 51.83 MPa basınç dayanımlarına sahiptirler. Aynı numunelerin 400 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki basınç dayanımları sırasıyla 25.64 MPa ve 8.12 MPa, 28.91 MPa ve 11.56 MPa, 34.37 MPa ve 15.21 MPa ve 39.78 MPa ve 21.85 MPa'dır. Uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren harçların ısı direncinin değişmesi, kullanılan malzemelerin puzzulanik davranışına bağlanmaktadır. Bu malzemeler çimentoda Ca(OH)₂ ile reaksiyona girer ve kompozite ekstra dayanıklılık sağlayan ekstra tobermorit jeli (CSH fazı) üretir.

To Cite: Öztürk M. Elevated Temperature Resistance of Mortars Including Ground Granulated Blast Furnace Slag, Fly Ash and Silica Fume. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):143-153.

Introduction

Cement is one of the most commonly used construction materials in all over the world (Çağlar et al., 2020). Cement based materials are non-flammable and offer important safety advantages over plastic and wood that are used as construction and building materials. Cement based materials also protects rebar in the reinforced structures. The cement based material covers the rebar and protect the material from environmental and chemical events (Erşan et al., 2008). However, exposure of high temperature causes damages in the cement-based structures. Protection of the cementitious composite is limited by exposure time, temperature etc.

Cementitious composites might be subjected to elevated temperatures that damage the structural properties of materials (Zhou et al., 2020). Fire, thermal shock and industrial applications are some of the cases that cementitious composites expose to high temperatures. In most cases high temperature causes deteriorations in the material due to physical and chemical changes that occur in cementitious composites.

According to literature, cement based composites subjected to elevated temperature up to 300 °C are not affected significantly since the elevated temperature could improve or fasten hydration reactions of cement (Setayesh et al., 2017). However, temperature between 350-550 °C causes strength loose in the material since that temperature range results decomposition of calcium hydrate (CH) into lime (Husem, 2006) and water and further elevated temperature range (700-900 °C) results decomposition of calcium-silica-hydrate gels (C-S-H) (Liu et al., 2019).

Elevated temperature not only affects chemical stability of the cementitious composite but also affect physical stability. Due to different thermal strain behavior of the materials in the cementitious composites cracks are formed with exposure of elevated temperature. Cracks formed as a result of mismatched thermal strains also causes strength loose in the material.

In recent years there have been many researches relating high temperature resistance of cementitious composites. For example, Akbar and Liew (2020) investigated effect of recycled carbon fiber on microstructure and mechanical properties of cement-based composites at elevated temperature. Zemri and Bouiadjra (2020) compared mechanical and physical performance of mortar including ordinary Portland cement and slag cement at elevated temperature. Ming et al. (2020) investigated mechanical and microstructure properties of cement blends with fly ash and aragonite calcium carbonate whiskers. Benli et al. (2020) investigated mechanical performance of self-compacting cementitious composites that contain vermiculite at elevated temperature. AzariJafari et.al investigated binary and ternary blended cement (fly ash, silica fume, natural zeolite, and metakaolin) against elevated temperature (Azari Jafari et al., 2019). Lubloy et al. (2017) investigated fire resistance of Portland-pozzolana or Portland-fly ash cement. Qu et al. (2020) studied elevated temperature resistance of alkali activated ground granulated blast furnace slag (GGBFS) and fly ash based geopolymer mortars. More studies

could be found by reading ref (Poon et al., 2001b, 2001a; Kodur and Sultan, 2003; Poon et al., 2003; Aydin and Baradan, 2007; Biolzi et al., 2008; Demirel and Keleştemur, 2010; Kong and Sanjayan, 2010; Cree et al., 2013; Hager, 2013; Khaliq and Kodur, 2013; Nadeem et al., 2013, Khaliq and Khan, 2015; Ma et al., 2015; Ahn et al., 2016; Khaliq and Taimur, 2018; Memon et al., 2019).

In the current paper, physical and mechanical properties of mortars containing GGBFS, fly ash (FA) and silica fume (SF) as replacement of ordinary Portland cement (OPC) at elevated temperature are investigated. The objective of this study is to reveal mechanical and physical properties of mortar including the most available and used pozzolanic admixtures by exposing 400-800 °C heat for 2-hour time duration.

Material and Method

Ordinary Portland cement (CEM I 42.5 R) is used to produce all mortar samples. GGBFS (Iskenderun Iron and Steel Inc., Hatay, Turkey), FA (Afsin-Elbistan Thermal Power Plant, Kahramanmaraş, Turkey) and SF (Eti Electrometallurgy Inc., Antalya, Turkey) are incorporated at a single amount of 15% wt partially substituting ordinary Portland cement. Since mineral additives are generally used between 10% and 50% of the cement weight (Puzolanik Maddeler-Panora Makine A.Ş., 2021), in this study, the mineral additive ratio is chosen as 15%, which provides this range. Chemical composition of the GGBFS, FA and SF used are given in Table 1. Calcareous based crushed fine aggregate with maximum grain size of 4 mm and 2.72 specific gravity is used to produce mortar samples. Polycarboxylate ether-based superplasticizer (SP) (Glenium sky 608, BASF) is used (if required) to reach desired workability.

Table 1. Chemical composition of the GGBFS, FA and SF

Chemical composition	FA (%)	GGBFS (%)	SF (%)
CaO	15.70	36.09	0.45
SiO ₂	46.97	37.55	92.04
Al ₂ O ₃	11.86	10.55	0.71
Fe ₂ O ₃	7.98	0.28	1.31
MgO	7.01	8.48	–
SO ₃	3.47	2.95	0,41
K ₂ O	3.23	1.07	1.52
Na ₂ O	2.33	0.24	0.45
Loss on ignition	0.45	2.29	3.11

Binder: Aggregate:Water ratio is kept constant as 1:2.75:0.485 for all mortar samples. Mixture proportions are prepared in accordance with ASTM C-109 (ASTM Standard, 2003). Mix design of the prepared samples is given in Table 2. Dry ingredients are mixed in pan type mortar mixer for 2 min then water is added to the mixture of the binder and aggregate. The mixing procedure is continued until observing homogenous mixture. The fresh mortar that produced after mixing the ingredients are poured into prismatic molds having 40 mm X 40 mm X 160 mm. Molded samples are kept in laboratory environment for 24 hours and mortar samples removed from the molds. After that the mortars are kept in a water tank for additional 27 days.

Table 2. Mix design of the mortars

Sample	Cement (wt%)	FA (wt%)	GGBFS (wt%)	SF (wt%)	Water (wt%)	SP (wt%)
Control	100	-	-	-	100	-
15%FA	85	15	-	-	100	-
15%GGBFS	85	-	15	-	100	-
15%SF	85	-	-	15	100	1

Flexural tensile strength test

Prismatic mortar specimens of size 40 mm X 40 mm X 160 mm are used for flexural tensile strength test at 28 days of water curing. ASTM C348 standards are followed during the flexural tensile strength test (ASTM C348-20, 1999). Following formula is used to determine flexural tensile strength value of the mortars. Mean value of the three samples is presented as a result.

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

(1)

Where σ , P, l, b and d are flexural tensile strength, load, span length which is 100 mm, width which is 40 mm and thickness which is 40 mm, respectively.

Compressive strength test

Samples broken into two portions after applying flexural tensile strength test are used for compressive strength test at 28 day of water curing and after exposure of elevated temperature. ASTM 349 standards are followed during compressive strength test (ASTM Standard, 2018). Following formula is used to determine compressive strength value of the mortars. Mean value of the six samples is presented as a result.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(2)

Where σ , P and A are compressive strength, load and area of the samples load is applied (40 mm X 40 mm), respectively.

Elevated temperature resistance test

Samples broken into two portions after applying flexural tensile strength test are used for elevated temperature resistance test. 28-day water cured samples kept in an oven at 50 °C until observing no change in mass of the specimen. Aim of that procedure is to evaporate free water in the specimens before starting the elevated heat resistance test. After evaporating the free water inside the specimens, the mortar samples are exposed to 400 and 800 °C heat for 2 hours in an oven that temperature inside it increase 5°C/min. It is reported in the literature that the critical temperature range for the loss of compressive strength is 400–800 °C (Chan et al., 1999). For this reason, temperatures of 400 and 800 °C are chosen for the current study. Heat inside the oven starts at 25°C and stays constant at the desired temperature. Specimens are kept inside the oven for 2 hours after the oven reaches the desired temperatures. Specimens are cooled down by switching off the oven. Compressive strengths of the cooled samples are determined to find out elevated heat resistance of the samples.

Results and Discussion

Flexural tensile strength, compressive strength and elevated temperature resistance of mortar samples including 15 % GGBFS, FA and SF as a partial replacement of OPC are presented in this section of the paper. Effect of GGBFS, FA and SF inclusion on the mechanical properties of the mortar is investigated.

Figure 1 shows flexural tensile strength test results of mortar samples including FA, GGBFS, SF and control sample that does not include any additional materials. The control sample has 8.58 MPa flexural tensile strength value while mortar samples with 15% FA, GGBFS and SF have 8.67 MPa, 8.84 MPa and 9.39 MPa flexural tensile strengths, respectively. The highest flexural tensile strength value obtained with the mortar sample including SF while the lowest strength value observed in the control sample. Regardless of the doped material, the flexural tensile strengths of the mortar samples increased with inclusion of FA, GGBFS and SF to the mortar. The strength development in the mortars with doping FA, GGBFS and SF is attributed to the pozzolanic behavior of the doped materials (Guo et al., 2020; Nedunuri et al., 2020; Zhao et al., 2018).

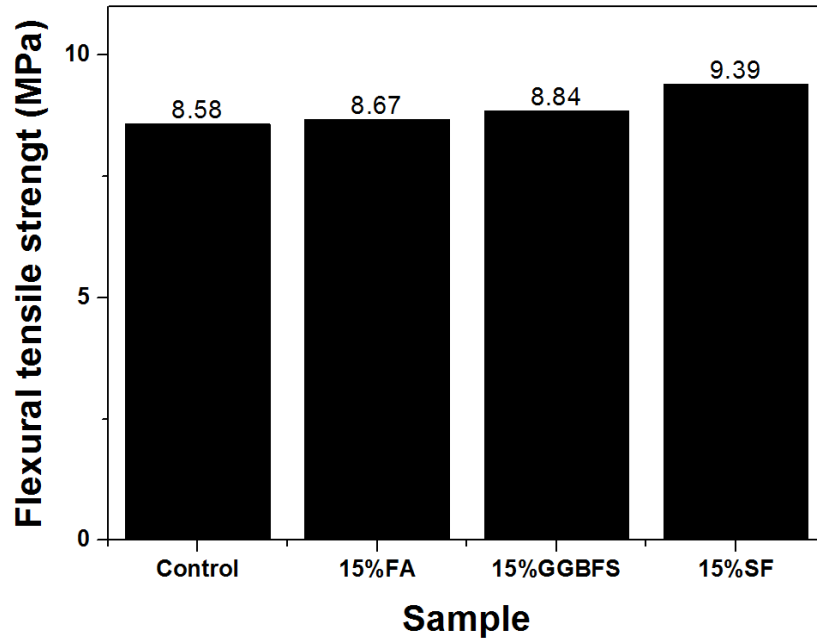


Figure 1. Flexural tensile strength results of mortar samples with different inclusions

Figure 2 shows compressive strength test results of 28-day mortar samples with and without doping materials that are FA, GGBFS and SF. It is seen that among the mortar samples the one with SF has the highest compressive strength value while the control sample that does not contain doping material performed the lowest strength value. The control sample has 30.81 MPa compressive strength value while mortar samples with 15% FA, GGBFS and SF have 33.62 MPA, 43.91 MPA and 51.83 MPa compressive strengths, respectively. It is thought that the doping materials resulted compressive strength development because of providing extra Calcium-Silicate-Hydrate gels to the hydration mechanism by reacting calcium hydrates in the hydration reactions (Cuesta et al., 2021; Jia et al., 2019; Wang et al., 2020). In addition to that SF has the finest particle size compared to the FA and GGBFS. As SF is more reactive then the FA and GGBFS, it has superior effect on compressive strength development of the mortar.

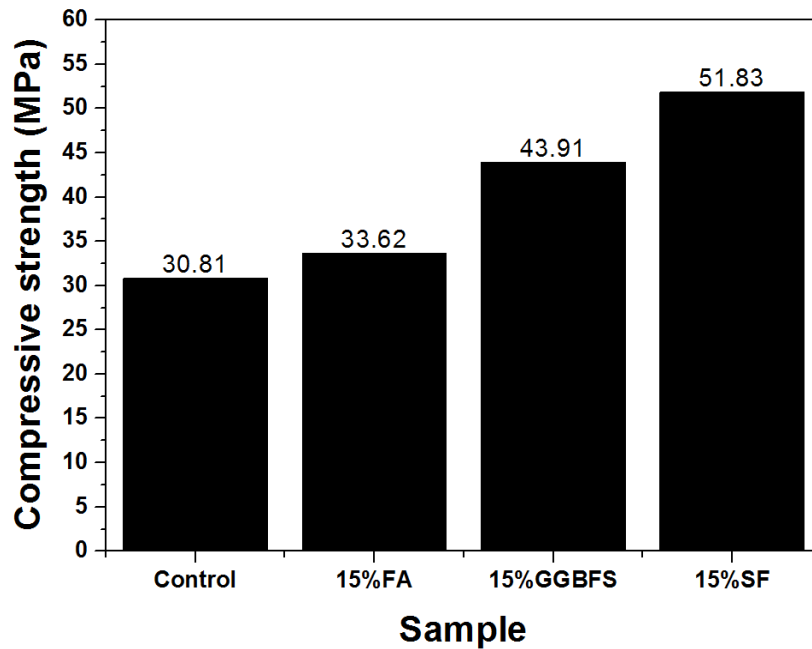


Figure 2. Compressive strength results of mortar samples with different inclusions

Figure 3 shows compressive strength test results of mortar samples rested at room temperature and samples exposed to 400 °C and 800 °C heat for 2 hours in an oven. Heat exposed samples were tested after cooling down. It is seen in the figure that compressive strength values of the mortar samples decrease with elevating the exposure temperature regardless to the doping type. Increasing the exposure heat from 23°C to 400 °C and 800 °C results 17% and 74% strength decrease in control sample, 14% and 66% strength decrease in mortar sample with 15% FA, 21% and 65% strength decrease in mortar sample with 15% GGBFS and 23% and 58% strength decrease in mortar sample with 15% SF. Mortar sample with 15% SF has superior compressive strength value before and after exposure of 400 °C and 800 °C heat. It has the highest compressive strength at room temperature (before heat exposure) and after elevated heat temperature among the other doped mortar samples. This behavior is parallel to the 28-day compressive strength behavior of the mortar samples. The higher the compressive strength, the higher elevated heat temperature resistance. Since silica fume has the highest reactive future among the other puzzoulans used in this paper, mortar sample including silica fume has the highest elevated temperature resistance compared the other samples tested. This phenomena is attributed to formation of extra tobermorite gel (CSH phase) as a result of reaction of silicafume and Ca(OH)_2 in cement (Saad et al., 1996).

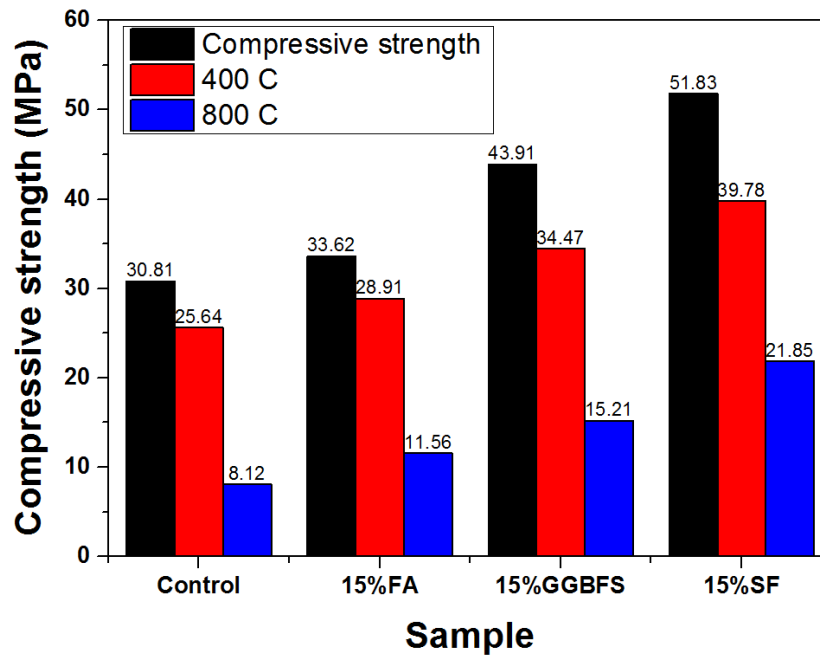


Figure 3. Compressive strength results of mortar samples with different inclusions before and after elevated heat exposure

Conclusion

In this study, elevated heat resistance of mortar samples including 15% FA, GGBFS and SF is investigated. Mortar samples with FA, GGBFS and SF are kept in a furnace for two hours at 400 °C and 800 °C to evaluate elevated heat resistance of the mortars. According to the findings it is revealed that replacement of 15% FA, GGBFS and SF by weight of cement in mortar specimens resulted increase in compressive strength of the mortars as expected. The highest elevated heat resistance observed in mortar samples with SF and the lowest elevated heat resistance observed in the control samples that does not include any puzzoulan. The altered heat resistance with presence of FA, GGBFS and SF is attributed to the puzzoulanic behavior of those materials. These materials react with Ca(OH)_2 in cement and produced extra tobermorite gel (CSH phase) that provides extra durability to the composite. This study reveals that among the studied materials SF provides the best heat resistance to the mortar.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Author's Contribution

The contribution of the author is 100%.

References

- Ahn YB., Jang JG., Lee HK. Mechanical properties of lightweight concrete made with coal ashes after exposure to elevated temperatures. *Cem Concr Compos* 2016; 72: 27-38.
- Akbar A., Liew KM. Influence of elevated temperature on the microstructure and mechanical performance of cement composites reinforced with recycled carbon fibers. *Compos Part B Eng* 2020; 198.
- ASTM Standard Designation C109 Standard Method for Compressive Strength of Cement Mortar, ASTM, Philadelphia, PA (2003).
- ASTM C348-20. Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars. *Annu B ASTM Stand* 1999.
- ASTM Standard. ASTM C349-18: Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure). *Annu B ASTM Stand* 2018.
- Aydin S., Baradan B. Effect of pumice and fly ash incorporation on high temperature resistance of cement based mortars. *Cem Concr Res* 2007; 37: 988–995.
- Azari Jafari H., Taheri Amiri MJ., Ashrafian A., Rasekh H., Barforooshi MJ., Berenjian J. Ternary blended cement: An eco-friendly alternative to improve resistivity of high-performance self-consolidating concrete against elevated temperature. *J Clean Prod* 2019; 223: 575–586. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.054>.
- Benli A., Karatas M., Anil Toprak H. Mechanical characteristics of self-compacting mortars with raw and expanded vermiculite as partial cement replacement at elevated temperatures. *Constr Build Mater* 2020; 239: 117895. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117895>.
- Biolzi L., Cattaneo S., Rosati G. Evaluating residual properties of thermally damaged concrete. *Cem Concr Compos* 2008; 30: 907–916. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.09.005>.
- Chan YN., Peng GF., Anson M. Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures. *Cement and Concrete Composites* 1999; 21(1): 23-27.
- Cree D., Green M., Noumowé A. Residual strength of concrete containing recycled materials after exposure to fire: A review. *Constr Build Mater* 2013; 45: 208–223.
- Cuesta A., Santacruz I., De la Torre AG., Dapiaggi M., Zea-Garcia JD., Aranda MAG. Local structure and Ca/Si ratio in C-S-H gels from hydration of blends of tricalcium silicate and silica fume. *Cem Concr Res* 2021; 143: 106405.
- Çağlar H., Çağlar A., Can Ö. Graphene additives effect on mechanical and structural characterization properties of polyvinyl alcohol (PVA) and boron based cement mortar. *Science of Advanced Materials*, 2020; 12(2): 269-275.
- Demirel B., Keleştemur O. Effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with finely ground pumice and silica fume. *Fire Saf J* 2010; 45: 385–391.

- Erşan YÇ., Van Tittelboom K., Boon N., De Belie N. Nitrite producing bacteria inhibit reinforcement bar corrosion in cementitious materials. *Sci Reports* 2018; 8: 1–10.
- Guo Z., Jiang T., Zhang J., Kong X., Chen C., Lehman DE. Mechanical and durability properties of sustainable self-compacting concrete with recycled concrete aggregate and fly ash, slag and silica fume. *Constr Build Mater* 2020; 231: 117115.
- Hager I. Behaviour of cement concrete at high temperature. *Bull Polish Acad Sci Tech Sci* 2013; 61:145–54. <https://doi.org/10.2478/bpasts-2013-0013>.
- <https://panoramakine.com.tr/default.asp?sayfa=goster&no=c3c> (as viewed on October 26, 2021)
- Husem M. The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete. *Fire Saf J* 2006; 41: 155–163.
- Jia Z., Chen C., Shi J., Zhang Y., Sun Z., Zhang P. The microstructural change of C-S-H at elevated temperature in Portland cement/GGBFS blended system. *Cem Concr Res* 2019; 123: 105773.
- Khaliq W., Khan HA. High temperature material properties of calcium aluminate cement concrete. *Constr Build Mater* 2015; 94: 475–487. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.023>.
- Khaliq W., Kodur V. Behavior of high strength fly ash concrete columns under fire conditions. *Mater Struct Constr* 2013; 46: 857–867.
- Khaliq W., Taimur. Mechanical and physical response of recycled aggregates high-strength concrete at elevated temperatures. *Fire Saf J* 2018; 96: 203–214.
- Kodur VKR., Sultan MA. Effect of temperature on thermal properties of high-strength concrete. *J Mater Civ Eng* 2003; 15: 101–107.
- Kong DLY., Sanjayan JG. Effect of elevated temperatures on geopolymer paste, mortar and concrete. *Cem Concr Res* 2010; 40: 334–339. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.10.017>.
- Liu M., Zhao Y., Xiao Y., Yu Z. Performance of cement pastes containing sewage sludge ash at elevated temperatures. *Constr Build Mater* 2019; 211:785–795.
- Lublóy É., Kopecskó K., Balázs GL., Restás Á., Szilágyi IM. Improved fire resistance by using Portland-pozzolana or Portland-fly ash cements. *J Therm Anal Calorim* 2017; 129: 925–936.
- Ma Q., Guo R., Zhao Z., Lin Z., He K. Mechanical properties of concrete at high temperature-A review. *Constr Build Mater* 2015; 93: 371–383.
- Memon SA., Shah SFA., Khushnood RA., Baloch WL. Durability of sustainable concrete subjected to elevated temperature – A review. *Constr Build Mater* 2019; 199: 435–455. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.040>.
- Ming X., Cao M., Yin H. Microstructural and mechanical evolutions of sustainable cement blends containing fly ash and calcium carbonate whiskers induced by high temperature. *Constr Build Mater* 2020; 263: 120615. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120615>.
- Nadeem A., Memon SA., Lo TY. Qualitative and quantitative analysis and identification of flaws in the microstructure of fly ash and metakaolin blended high performance concrete after exposure to elevated temperatures. *Constr Build Mater* 2013; 38: 731–741.

- Nadeem A., Memon SA., Lo TY. The performance of fly ash and metakaolin concrete at elevated temperatures. *Constr Build Mater* 2014; 62: 67–76.
- Nedunuri SSSA., Sertse SG., Muhammad S. Microstructural study of Portland cement partially replaced with fly ash, ground granulated blast furnace slag and silica fume as determined by pozzolanic activity. *Constr Build Mater* 2020; 238: 117561.
- Poon CS., Azhar S., Anson M., Wong YL. Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures. *Cem Concr Res* 2001; 31: 1291–300. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00580-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00580-4).
- Poon CS., Azhar S., Anson M., Wong YL. Performance of metakaolin concrete at elevated temperatures. *Cem Concr Compos* 2003; 25: 83–89.
- Poon CS., Azhar S., Anson M., Wong YL. Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing. *Cem Concr Res* 2001; 31: 1307–1318.
- Qu F., Li W., Tao Z., Castel A., Wang K. High temperature resistance of fly ash/GGBFS-based geopolymer mortar with load-induced damage. *Mater Struct Constr* 2020; 53: 1–21.
- Saad M., Abo-El-Eneinf SA., Hanna GB., Kotkata MF. Effect of temperature on physical and mechanical properties of concrete containing silica fume. *Cem Concr Res* 1996; 26: 669–675. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(96\)85002-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(96)85002-2).
- Setayesh Gar P., Suresh N., Bindiganavile V. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures. *Constr Build Mater* 2017; 153: 929–936.
- Wang L., Guo F., Lin Y., Yang H., Tang SW. Comparison between the effects of phosphorous slag and fly ash on the C-S-H structure, long-term hydration heat and volume deformation of cement-based materials. *Constr Build Mater* 2020; 250: 118807.
- Zemri C., Bachir Bouiadjra M. Comparison between physical–mechanical properties of mortar made with Portland cement (CEMI) and slag cement (CEMIII) subjected to elevated temperature. *Case Stud Constr Mater* 2020; 12: e00339. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00339>.
- Zhao Z., Qu X., Li F., Wei J. Effects of steel slag and silica fume additions on compressive strength and thermal properties of lime-fly ash pastes. *Constr Build Mater* 2018; 183: 439–450.
- Zhou J., Lu D., Yang Y., Gong Y., Ma X., Yu B., Yan B. Physical and mechanical properties of high-strength concrete modified with supplementary cementitious materials after exposure to elevated temperature up to 1000 °C. *Materials* 2020; 13(3): 532.

İnşaat Sektöründe Meydana Gelen Kazalardaki Kazazedelerin Son Durumlarına Etki Eden Faktörlerin YSA ile İncelenmesi

Murat SAĞIR¹, Rabia SAĞIR², Olcay GENÇ^{3*}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Ekonomi Bölümü, 32100, Hatay

²İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ekonomi ve Finans Anabilim Dalı, 32100, Hatay

³İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32100, Hatay

¹<http://orcid.org/0000-0001-7567-9327>

²<http://orcid.org/0000-0001-8042-8637>

³<http://orcid.org/0000-0002-5162-2665>

*Sorumlu yazar: olcay.genc@iste.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.06.2021

Kabul tarihi:11.09.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

İş kazası

Bilirkişi raporu

İş sağlığı ve güvenliği

Yapay sinir ağları

ÖZ

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre Türkiye ölümle sonuçlanan iş kazalarında Avrupa birincisi ve dünya üçüncüsüdür. Özellikle inşaat iş kollarında meydana gelen kazalar, çoğunlukla ölümle sonuçlanmakta ya da kazazedenin ömür boyu katlanmak zorunda kalacağı sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye genelinde yaşanmış 134 kaza ve 185 kazazedenin olduğu bir veri seti kullanılarak kazazedelerin son durumunu bağımlı değişken kabul eden bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli oluşturuldu ve inşaat sektöründe meydana gelen kazalarda kazazedelerin son durumuna etki eden faktörler analiz edildi. Sonuç olarak, kazanın önlenmesi ya da kazazedenin kazayı daha az kayıpla atlattığı için ilgili şirketler ve/veya devlet tarafından alınması gereken önlemlerin neler olabileceğinin tespit edilmesine çalışıldı.

Investigation of the Factors Affecting the Last Conditions of Victims of Construction Sector Accidents with ANN

Research Article

Article History:

Received: 06.06.2021

Accepted: 11.09.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Work accident

Expert report

Occupational health and safety

Artificial neural networks

ABSTRACT

According to World Labor Organization (ILO), Turkey comes first in Europe and the third in world in fatal accidents at work. Accidents, especially in the construction business, often result in death or cause health problems that the victim will have to endure for a lifetime. In this study, a data set of 134 accidents and 185 casualties occurred in Turkey was adopted, and then, an Artificial Neural Networks (ANN) model that accepts the survivor's final status as the dependent variable was intended to be constructed to identify the factors affecting the final status of the victims. As a result, it was tried to determine what measures could be taken by the relevant companies and/or the state in order to prevent the accident or to help the casualty survive the accident with less loss.

To Cite: Sağır M., Sağır R., Genç O. İnşaat Sektöründe Meydana Gelen Kazalardaki Kazazedelerin Son Durumlarına Etki Eden Faktörlerin YSA ile İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):154-175.

Giriş

Dünya genelinde yılda yaklaşık 180 milyon çalışan, büyük çoğunluğu endüstri kollarında meydana gelen iş kazaları veya meslek hastalıkları sebebiyle hayatını kaybetmektedir (Karadeniz, 2012). Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre Türkiye ölümlü sonuçlanan iş kazalarında Avrupa'da birinci, dünyada üçüncü sırada olup (Ünal, 2017) Türkiye'de SGK istatistiklerine göre 2009 yılında yaklaşık 64 bin iş kazasından yaklaşık 1100'ü ölümlü, yaklaşık 1800'ü ise kazazedenin sürekli iş göremezlik durumuyla sonuçlanmıştır (Url-2, 2020). Kazalar ekonomik açıdan irdelendiğinde ise, ILO verilerine göre iş kazaları ve meslek hastalıklarının ekonomik maliyeti dünya milli gelirinin %5'ine ulaşmaktadır. ILO kriterlerine göre 2009 yılında iş kazası ve meslek hastalıklarının Türkiye'ye maliyeti yaklaşık 38 milyar TL olarak tahmin edilmiştir (Url-1, 2020).

Genel olarak her meslek grubu ve sektör için farklı sebepler dolayısı ile iş kazaları meydana gelmekte olup, ülkemizde inşaat sektörü gerek ölümlü gerek sürekli iş göremezlik kaza sıklığının en fazla olduğu sektördür (Ceylan, 2014). Türkiye'de meydana gelen tüm iş kazalarının yaklaşık %9'u, sürekli iş görmezlik kazalarının %20'si, ölümlü sonuçlanan iş kazalarının ise %27'si inşaat sektöründe meydana gelmekte olup (Aghazadeh, 2013) bu durum, çalışanları açısından sektörün ne kadar riskli olduğunun bir göstergesidir. Kişisel koruyucu donanım kullanmak gibi bazı basit önlemler olarak iş kazalarının %50'sinin ve sistematik çalışmalar yaparak %48'inin yani toplamda iş kazalarının %98'inin önlenbilir olduğu saptanmıştır (Demir ve Öz, 2018), bu durum son yıllarda ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği öneminin artmasıyla beraber yine de istenen seviyede olmadığına göstergesidir.

Bu çalışmada, Türkiye inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarında kazazedelerin son durumlarına etki eden faktörler tespit edilip, ilgili şirketler ve devlet tarafından alınması gereken önlemlerin neler olabileceği irdelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Türkiye'de 1994-2012 yılları arasında gerçekleşen ve yargıya taşınmış 185 adet inşaat sektörü iş kazasına ait bilgiler mahkeme bilirkişi raporlarından elde edilmiş ve kazazedenin son durumunu bağımlı değişken kabul eden bir yapay sinir ağı (YSA) modeli tasarlanmıştır. Böylece kazazedelerin son durumuna etki eden faktörler tespit edilmiştir ve kazaların önlenmesi veya kazazedenin kazayı daha az kayıpla atlattırması için alınması gereken önlemlerin neler olabileceği tartışılmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısımları şu şekildedir. İkinci bölümde çalışma ile ilgili olduğu düşünülen literatüre yer verilmiştir. Bir sonraki bölümde çalışmada kullanılan verinin ve uygulanan yöntemin anlatıldığı metodoloji bölümü yer almaktadır. Dördüncü bölümde analiz sonuçları ve aynı zamanda bulguların tartışılmasına yer verilmiş olup beşinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

Literatür Taraması

Literatürde iş kazaları ile alakalı gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma mevcut olup çalışmanın bu bölümünde araştırma konusu ile ilgili olduğu düşünülen kısa literatür özetine yer verilmiştir.

İş sağlığı ve güvenliği denildiğinde ilk akla gelen iş kazalarıdır. İş kazaları birçok maddi ve manevi kayıplara neden olmakla birlikte kazaya karışan bireyi, ailesini ve toplumu doğrudan etkilemektedir. Onaran (2008), ölümlü iş kazaların çoğunun tarım, madencilik, imalat ve inşaat, sektörlerinde meydana geldiğini ifade etmiş ve gerekli tedbirlerin alınması yani İSG ile iş kazalarının yarı yarıya düşürülebileceğini ifade etmiştir. Güneş (2011) çalışmasında toplumda iş sağlığı ve güvenliği bilinci geliştirilmedikçe hukuki vasıtalarla yapılan müdahalelerin her zaman yetersiz kalacağı, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önüne geçmenin mümkün olmayacağını belirtmiştir. İş sağlığı ve güvenliği konusunda Türkiye’de diğer gelişmiş ülkelere kıyasla eksikler bulunmaktadır. Bu eksikler; iş güvenliği müfettişlerinin sayısının yetersizliği (Gaye, 2011), hukuk sisteminin yetersizlikleri ve cezaların caydırıcı olmaması (Baradan, 2006) mahkemelerin çok uzun sürmesi ve maluliyet oranlarının hesaplanmasında bir standardın olmaması (Sözen ve ark., 2009), iş kazası ve meslek hastalığı sonucu SGK tarafından sağlanan yardımların yeterli boyutlara ulaşmaması (Şamiloğlu, 2008), İSG Genel Müdürlüğünün mevcut şartlar itibariyle belirtilen İSG standartlarını oluşturma ve güncelleme işlevini yerine getiremeyeceği (Kabakçı, 2009) olarak sayılabilir. Baradan ve ark. (2011) Türkiye’de İSG konusunda yetişmiş teknik elemanın, özellikle de A ve B sınıfı iş güvenliği uzmanı sayısının yetersiz olduğunu belirtmiştir. Usmen ve Baradan (2011), Türkiye ile ABD’yi kıyaslamış ve İSG konusunda yapılacak iyileştirmeleri etkileyen faktörlerin; mevzuat, yaptırım ve cezalar hazırlamak, etkin ve yenilikçi İSG programları, akademik ve mesleki eğitim (genel ve özel), iş kazaları ve meslek hastalıklarını önlemek için yöntemler, araç ve teknolojiler geliştirmek, iş sağlığı ve güvenliğini sürekli iyileştirmek için meslek odaları ve sendikaların katkılarıyla, endüstri, devlet ve akademisyenler arasında işbirliği sağlamak olduğunu ifade etmişlerdir. Baradan ve ark. (2013), 2009-2010 yılları arasında Ege bölgesinde yapı işleri sırasında meydana gelen yüksekte düşme kazalarını müfettiş raporlarından yararlanarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda iki meslek grubu, iş kazalarının sıklığında ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Bu iki meslek grubu %25 ile kalıp işçiliği ve %28 ile sıva/boya işçiliğidir. Diğer işçi gruplarının oranlarının ise %10’un altında kaldığı tespit edilmiştir. Erdiş ve ark. (2013) İstanbul, Ankara, İzmir, Antalya, Gaziantep, Kayseri, Mersin ve Hatay illerinde yüksekte düşme sonucu gerçekleşmiş kazalara ait 51 adet dava tutanağını incelemiş ve bu kazaların nedenleri ile ortaya çıkan kişisel sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde edilen bulgular sonucunda, ölüm ve yaralanma ile sonuçlanan olaylarda, yüksekte düşmelerin genellikle dikkatsizlik ve denge kaybı nedeniyle meydana geldiği belirtilmiştir. Tanır (2014), eğitim rehberi çalışmasında İSG uygulama ilkelerinden yasal mevzuatlara, kurul organizasyonunda görev alan kişilerin görev tanımlarından İş Sağlığı ve Güvenliğinin amaçlarına detaylı olarak değinmiş ve ILO verilerini kullanarak ciddi iş kazası ve ölüm risklerine göre yıllar ve ülkeler bazında bir istatistik çalışması yapmıştır.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanunu kapsamında işverenin en önemli yükümlülüğü risk değerlendirmesi yapma yükümlülüğüdür. Kanununun 4. maddesine göre “işveren risk değerlendirmesi yapar ya da yaptırır” (Bostancı, 2013). Ceylan (2012), iş kazaları ve bunlardan ölüm ile sonuçlananları

sektörlere göre gruplandırmış, iş kazası oluşma riski yüksek sektörlerin maden, metal ve inşaat olduğunu saptamıştır. Ünal ve Aykaç (2010), inşaat sektöründe kullanılan asansörlerin güvenlik risklerine ve asansör kazalarının nedenlerini irdeledikleri çalışmalarında, teftişler tarafından belirlenen eksikliklerin ve mevzuata uygun olmayan hallerin düzeltilmemesi halinde, işin durdurulmasını ve gerektiğinde işyerinin kapatılmasını öngören yasal hükümlerin bulunmakta olduğu, fakat müfettiş sayısının yetersiz olması nedeniyle iş yerlerinin bir yıl içerisinde en fazla %10'unun denetlenebildiğini ifade etmişlerdir. Mıstıkoğlu ve ark. (2015) çatı ve cephe kaplaması imalatı sırasında meydana gelen kaza sayılarının diğer kazalara nispeten neden fazla olduğunun araştırılması ve kazalara karşı alınan güvenlik önlemlerinin değerlendirilebilmesi için bir çalışma yapmışlar ve bu çalışmada meydana gelen kazaların en büyük nedeninin işçilerin İş Sağlığı ve Güvenliği kültürünü benimsememesi olduğunu belirtmişlerdir. Iraj ve ark. (2015), inşaat sektöründe sağlığı tehdit eden faktörleri belirlemek ve mesleki yaralanmaların ciddiyetini tahmin etmek için bir model sunmak için iş yaralanmalarının ciddiyetinin YSA ile modellemişlerdir. Araştırmanın bulguları, yaralanmaların bir sağlık sorunu olarak ciddiyetinin, kaza şiddetinin nedensel ve tahmin edici faktörleri olarak kabul edilebilecek bireysel, organizasyonel, sağlık ve güvenlik eğitimi ve risk yönetimi faktörleri dahil olmak üzere çeşitli faktörlerle sonuçlandığını göstermiştir. Soltanzadeh ve ark. (2016), inşaat sektöründe kaza şiddet oranı faktörlerini belirlemeyi amaçladıkları çalışmalarında YSA kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, bazı bireysel faktörlerin, organizasyonel faktörlerin, eğitim faktörlerinin ve risk yönetim sistemi faktörlerinin inşaat endüstrisinde kaza şiddet oranı faktörlerinin öngörü ve ilişkili faktörleri olabileceğini gösterilmiştir. Genç ve ark. (2018), Türkiye'deki inşaat sektöründeki işlerde firma risklerini, firmaların bu risklere karşı tutumlarını ve bu risklerin proje başarısına etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmalarında inşaat projelerinde meydana gelen doğal afet/eylem/kaza risklerinin gerçekleşme olasılığı az düzeyde, proje-tasarım aşamasındaki riskler, inşaat aşaması- organizasyon riskleri ve dış- çevresel risklerinin gerçekleşme olasılıklarının ise orta düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

Metodoloji

Bilirkişi, belirli bir alanda uzman olan, uzmanlığı konusunda kendisine güvenilen ve uzmanlık bilgisini tarafsız olarak sunma iradesi olan kişidir (Tarman,2005). Bilirkişi, görüşüne başvurulmuş konu ile ilgili incelemelerini bitirip çalışmasını sonuçlandırınca mütalaasını "bilirkişi raporu" adı verilen yazılı şekilde ilgili mercie bildirir (Mecek, 2011). Bu çalışmada 1994-2012 yıllarına ait SGK veri depolama sisteminden elde edilen 134 adet bilirkişi raporu kullanılmıştır. Raporların tamamı 3 bilirkişi tarafından oluşturulmuş bilirkişi heyet raporudur. SGK verileri kullanıldığı için tüm işçiler sigortalıdır. Kazazedelerin tümü erkektir. İncelenen her rapor bir kazayı temsil etmektedir. Çalışmada kullanılan 134 kazanın bazılarında birden fazla kazazede mevcut olup toplam 185 kazazedeye ait veri değerlendirilmiştir.

134 bilirkişi raporundan elde edilen 185 gözleme ait değişkenlerden beş nicel değişken kazanın meydana gelmesindeki sorumluluk oranlarını (işçi kusur oranı, sorumlu şirket kusur oranı, diğer şirketler kusur oranı, üçüncü şahıs kusur oranı, kaçınılmazlık oranı) ve 19 nitel değişkenin yer aldığı kazanın gerçekleştiği zamana ait değişkenler (mevsim, gün, hafta içi/sonu, kaza anı), kazanın olduğu mekâna ait değişkenler (bölge, il), kazanın gerçekleştiği inşaata ait değişkenler (proje tipi, yapı tipi, kişisel ya da toplu koruyucu önlemlerin varlığı) kazazedenin görevi, kazazede ile ilgili değişkenler (kazazedenin yaşı, uzuv kaybı, son durumu) bilirkişi raporları sonucu kazanın meydana gelmesine sebep olan nedenler (denge kaybı, dikkatsizlik, çökme-göçme, bakım-onarım eksikliği, denetim eksikliği, eğitim eksikliği) analizde yer almıştır. Beş kusur oranı toplamı yüzde yüz olacak şekilde belirlenen orandır. Bu kusur oranlarına ait kayıp gözlem sayısı Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi kusur oranlarına ait kayıp gözlem çok azdır.

Tablo 1. Kusur oranlarına ait betimsel istatistik değerleri

Kusur oranları	Geçerli Gözlem	Kayıp Gözlem	Ortalama	Standart Hata
İşçi kusur oranı	184	1	18,56	1,167
Sorumlu şirket kusur oranı	184	1	60,87	1,361
Üçüncü şahıs kusur oranı	184	Yok	3,95	0,795
Kaçınılmazlık oranı	185	Yok	0,65	0,380
Diğer şirketler kusur oranı	184	1	15,84	1,426

Kazanın olduğu zamana ait nitel değişkenlerin sahip olduğu kategorilerin neler olduğu ve ne kadar gözlemlendiği özetlenmek için kazanın gerçekleştiği zamana ait değişkenlerin frekans değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kazanın gerçekleştiği zamana ait değişkenlerin frekans değerleri

Kazanın Olduğu Zaman	Frekanslar	Kayıp Gözlem
Hafta İçi	149	Yok
Hafta Sonu	36	
Pazartesi	57	
Salı	27	
Çarşamba	22	
Perşembe	21	Yok
Cuma	22	
Cumartesi	22	
Pazar	14	
İlkbahar	80	
Kış	30	Yok
Son Bahar	36	
Yaz	39	
0.00-3.59	5	
4.00-6.59	2	
7.00-9.59	18	
10.00-12.00	38	60
12.45-14.59	21	
15.00-17.59	22	
18.00-20.59	13	
21.00-23.59	6	

Tablo 2’de görüldüğü gibi kazanın gerçekleştiği zamana ait değişkenlerden sadece kaza anında kayıp gözlemler bulunmaktadır. Altmış adet kayıp gözlem kaza saatinin tam olarak tespit edilememesi ve/veya bilinmeyen başka bir sebeple bilirkişi raporlarında yer almamıştır.

Tablo 3. Kazanın gerçekleştiği mekâna ait değişkenlerin frekans değerleri

Kazanın Olduğu Yer	Frekanslar	Kayıp Gözlem
Akdeniz Bölgesi	36	
Doğu Anadolu Bölgesi	4	
Ege Bölgesi	9	
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	8	Yok
İç Anadolu Bölgesi	12	
Karadeniz Bölgesi	60	
Marmara Bölgesi	56	
Adana	18	
Ankara	8	
Antalya	2	
Balıkesir	3	
Bingöl	3	
Bolu	6	
Çanakkale	4	
Denizli	2	
Düzce	6	
Eskişehir	1	
Gaziantep	8	
Gümüşhane	1	Yok
Hatay	11	
İstanbul	47	
Kayseri	1	
Kütahya	2	
Malatya	1	
Manisa	5	
Mersin	5	
Nevşehir	1	
Sakarya	2	
Samsun	1	
Yozgat	1	
Zonguldak	46	

Tablo 3’te kazanın gerçekleştiği mekâna ait değişkenlerin frekansları gerek bölge bazında gerekse il bazında yer almaktadır. 134 kazanın raporlandığı örnekleme, 7 bölgeden ve 24 ilden gözlemler bulunmaktadır. Kazazede sayılarının bazı illerde düşük bazı illerde yüksek olması dikkate değerdir. Bu durumun birçok nedeni olabilir. İllerin farklı nüfus büyüklüklerine sahip olması nedenlerden bir tanesidir. Fakat yüksek nüfusa sahip olmak, kazaların çok olması ve bu kazalarda daha fazla kazazedenin etkilenmesini tek başına açıklamaz. Bunun yanında illerdeki iş sağlığı ve güvenliği konusunda farklı uygulamalar olabilir. Zonguldak ilinin sahip olduğu yüksek frekansın nedeni, Zonguldak’ta iş alanları olarak madenlerin çoğunlukta olmasıdır. Bilindiği gibi bir maden kazasında birden çok kazazedenin etkilenmesi muhtemeldir.

Tablo 4. Koruyucu önlemlerle ilgili değişkenlere ait frekans değerleri

Koruyucu Önlemler	Frekanslar	Kayıp Gözlem
Kişisel Koruyucu Önlemler Yok	181	1
Kişisel Koruyucu Önlemler Var	3	
Toplu Koruyucu Önlemler Yok	183	1
Toplu Koruyucu Önlemler Var	1	

Tablo 4 incelendiğinde genel olarak hem toplu koruyucu önlemlerin hem de kişisel koruyucu önlemlerin alınmadığı raporlanmıştır. Bu durum kazanın ve kazada yaşanan can kaybı ve benzeri mağduriyetlerin önlenebileceğini gözler önüne sermektedir. Kayıp gözlem açısından incelendiğinde Kişisel koruyucu önlemler ve toplu koruyucu önlemler değişkenlerinde birer kayıp gözlem bulunmaktadır.

Tablo 5. Kazanın gerçekleştiği proje ve yapılara ait frekanslar

Proje ve Yapı Tipi	Frekanslar	Kayıp Gözlem
Bakım Onar Projesi	11	Yok
İnşaat Projesi	174	
Bina Yapıları	89	
Dekopaj & Galer i& Tünel	49	
Diğer	8	
Enerji Tesisleri	5	4
Spor Tesisleri	2	
Su Yapıları	20	
Ulaştırma Yapıları	8	

Tablo 5'te kazanın gerçekleştiği proje tipine ait bilgiler bulunmaktadır. Kazalar bakım onarım projelerinden ziyade inşaat projelerinde meydana gelmektedir. 185 kazazedenin hangi proje tipinde çalıştığına dair kayıp gözlem bulunmamaktadır. Fakat kazanın olduğu yapı tipi incelendiğinde dört kayıp gözlem bulunmaktadır. İncelenen 185 kazazedenin çoğunlukla bina yapılarında dekopaj&galeri&tünel yapılarında ve su yapılarında çalıştıkları görülmektedir

Tablo 6. Kazazedelerin görevi ile alakalı frekans değerleri

Kazazedenin Görevi	Frekanslar	Kayıp Gözlem
Bekçi	2	
İşçi	116	
İş Uzmanı	3	
Mühendis	1	
Operatör	9	Yok
Şoför	7	
Tekniker	2	
Teknisyen	9	
Usta	36	

Tablo 6 incelendiğinde kazazedelerin çoğunluğunun vasıfsız işçi olduğu görülmektedir. Eğitim düzeyi ve mesleki vasıf artığında (işçi, usta, teknisyen, tekniker ve mühendis) kazazedeye ait frekanslarda azalmaktadır. Kazazedenin görevi değişkenine ait kayıp gözlem bulunmamaktadır.

Tablo 7. Kazazede ile alakalı değişkenlere ait frekans değerleri

Kazazede ile Alakalı Değişkenler	Frekanslar	Kayıp Gözlem
Uzun Kaybı Yok	172	
Uzun Kaybı Var	13	Yok
17-24 yaş	23	
25-32 yaş	51	
33-40 yaş	38	33
41-48 yaş	30	
49-58 yaş	10	
Sürekli İş Göremezlik	41	
Olum	96	
Malul	6	2
Geçici İş Göremezlik	40	

Tablo 7 incelendiğinde 185 kazazedenin 13'ünde uzuv kaybı meydana geldiği görülmektedir. Yine bu tabloda Kazazedenin yaşı 5 kategoriye ayrılarak incelenmiştir. En çok frekansa sahip yaş kategorisinin 25-32 yaş kategorisi olduğu görülmektedir. Genç yaşlarda kazaya uğrama ihtimalinin yüksek olması, tecrübe ve eğitim eksikliğinin kazanın yaşanma olasılığını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Kazazedenin son durumu değişkeni incelendiğinde 185 kazazededen 96'sının ölmüş olması Türkiye'de meydana gelen kazalarda can kaybının çok olduğu gerçeğinin bir yansımasıdır. Uzuv kaybı, kazazedenin yaşı ve son durum değişkenleri sırasıyla 0, 33 ve 2 kayıp gözleme sahiptir.

Tablo 8. Kaza nedenlerine ait frekans değerleri

Kazanın Nedenleri	Frekanslar	Kayıp Gözlem
Denge Kaybı Yok	141	
Denge Kaybı Var	44	Yok
Dikkatsizlik Yok	47	
Dikkatsizlik Var	138	Yok
Çökme-Göçme Yok	141	
Çökme-Göçme Var	44	Yok
Bakım-Onarım Eksikliği Yok	172	
Bakım-Onarım Eksikliği Var	13	Yok
Denetleme Eksikliği Yok	41	
Denetleme Eksikliği Var	144	Yok
Eğitim Eksikliği Yok	48	
Eğitim Eksikliği Var	137	Yok

Kaza nedenlerine ait değişkenler incelendiğinde kazalarda dikkatsizliğin çok olduğu ve denetleme eksikliğinin fazla olduğu görülebilmektedir. Ayrıca eğitim eksikliği de büyük boyutlardadır. Kaza nedenlerine ait değişkenlerde kayıp gözlem bulunmamaktadır.

Çalışmada yer alan değişkenlere ait verilerin bazılarında eksik verilerin olduğu görülmektedir. Kayıp verilerin mevcut olduğu durumlarda veriler analiz edilmeden önce kayıp verilerin rasgele olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. İstatistiksel çıkarımlarda bir örneğin ana kütlede rasgele çekilmesi ne kadar önemliyse, bir örnekleme eksik verinin rasgele olması da o kadar önemlidir. Veri yapısındaki nicel değişkenlere ait gözlem değerleri eksik veri içerenler ve içermeyenler olarak iki gruba ayrılır. Daha sonra ilgilenilen diğer değişkenlerin değerleri açısından eksik veri içeren ve

içermeyen iki grup arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farkın olup olmadığı *t* testi ile test edilir. Anlamlı fark, rasgele olmayan kayıp veri sürecinin varlığını gösterir (Alpar, 2003). *t* testine ait hipotezler aşağıdaki gibidir.

- H_0 : Eksik verilerde rastgelelik vardır
- H_1 : Eksik verilerde rastgelelik yoktur

SPSS 20 programı yardımı ile elde edilen kayıp verilere ait *t*-test sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Kazazedenin yaşı ve kaza anı değişkenlerine ait kayıp verilerde rastgelelik analizi t-testi sonuçları

Değişken	İstatistikler	İşçi kusur oranı	Sorumlu şirket kusur oranı	Üçüncü. Şahıs Kusur Oranı	Kaçınılmazlık oranı	Diğer şirketler kusur oranı
Kazazedenin yaşı	p değeri	0,705	0,955	0,996	0,232	0,779
	Ortalama (Mevcut)	18,74	60,83	3,95	0,39	16,06
	Ortalama (Kayıp)	17,73	61,06	3,94	1,82	14,85
Kaza anı	p değeri	0,000	0,000	0,000	0,971	0,000
	Ortalama (Mevcut)	23,23	57,94	5,44	0,64	12,54
	Ortalama (Kayıp)	8,92	66,92	0,83	0,67	22,67

Yapılan analizlerde kayıp veri sayısı beş ve beşten küçük olanlar dikkate alınmamıştır. Tablo 9 incelendiğinde kazazedenin yaşı değişkenindeki kayıp verilerin rasgele olduğu görünmektedir. Fakat kaza anındaki kayıp veriler rasgele dağılmamaktadır. Ayrıca tüm nicel değişkenler için tam olan gözlemleri (List wise: Akıllı liste) dikkate alarak elde edilen aritmetik ortalama ile bütün değerleri (All values: Bütün değerler) dikkate alarak elde edilen aritmetik ortalamalar arasında önemli bir farklılık bulunmamaktadır (bkz. Tablo 10).

Tablo 10. Nicel değişkenler için hesaplanmış ortalamalar

	İşçi kusur oranı	Sorumlu şirket kusur oranı	Üçüncü. Şahıs Kusur Oranı	Kaçınılmazlık oranı	Diğer şirketler kusur oranı
Akıllı liste	24,65	57,87	5,59	0,59	11,29
Bütün değerler	18,56	60,87	3,95	0,65	15,84

Yine rastgeleliğin bir göstergesi olarak, veri setindeki değişkenler kayıp değer içerenler ve içermeyenler olarak iki gruba ayrılıp, tam veriler 1, kayıp veriler 0 olarak kodlandıktan sonra değişkenler arasındaki Pearson korelasyon değerleri incelenebilir. Elde edilen Pearson korelasyon katsayıları her bir değişken çifti için kayıp veriler arasındaki ilişki miktarının derecesini gösterir. Tablo 11 incelendiğinde değişkenler arasında görülen düşük korelasyonların varlığı her bir değişken çifti için eksik verilerin rasgele dağıldığını göstermektedir (Alpar, 2003).

Tablo 11. Pearson korelasyon matrisi

	İşçi kusur oranı	Sorumlu şirket kusur oranı	Üçüncü. Şahıs Kusur Oranı	Kaçınılmazlık oranı	Diğer şirketler kusur oranı
İşçi kusur oranı	1				
Sorumlu şirket kusur oranı	-0,218	1			
Üçüncü şahıs kusur oranı	-0,264	-0,285	1		
Kaçınılmazlık oranı	-0,032	-0,196	-0,042	1	
Diğer şirketler kusur oranı	-0,349	-0,578	-0,195	-0,059	1

Gösterge değişkenlerinin yüzde uyumsuzlukları Tablo 12’de sunulmuştur. Tablo 12 incelendiğinde kazazedenin yaşı ile kaza anı değişkeninin uyumsuzluk yüzdesinin %37,30 olduğu görülmektedir. Bunun anlamı bu değişken çiftinden en az birinin eksik olduğu gözlem sayılarının bütün gözlem sayılarına oranının yüzdesi olarak ifade edilebilir. Bu değer, kayıp verilerin iki değişken çiftindeki farklı gözlem değerlerinde meydana geldiğini göstermektedir.

Tablo 12. Gösterge değişkenlerinin yüzde uyumsuzluğu

	Kazazedenin yaşı	Kaza anı
Kazazedenin yaşı	17,84	
Kaza anı	37,30	32,43

Kayıp değerler rasgele olduğunda kayıp değer içeren veri setlerinde çeşitli silme yöntemleri ile kayıp değerler problemin ortadan kaldırılacak yöntemler kullanılabilir (Köse ve Öztumur, 2014). Fakat bu yöntem kullanıldığında bazen gözlem sayısında önemli ölçüde azalma olmakta, bu da yeterli olan örneklem büyüklüğünü olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, araştırmanın güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Kalaycı, 2010). Bunun yerine kayıp değerlerin çeşitli atama yöntemleri mevcuttur. Sık kullanılan atama yöntemlerinden bazıları; yerine ortalama koyma, regresyon ataması, beklenen maksimizasyon yaklaşımı ve çoklu atama olarak sıralanabilir (Köse ve Öztumur, 2014).

Bu ilgiler ışığında kaza anı değişkenine ait kayıp verilerin rasgele dağılmaması ve kazazedenin yaşı değişkenine ait kayıp veriler ile gösterdiği uyumsuzluktan dolayı tahmin edilmemesi uygun olarak görülmüştür. Fakat kaza anının önemli bir bilgiyi taşımasından dolayı analiz dışında bırakılmaması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı kategorik hale getirilmiş olan kaza anı değişkeninde kayıp gözlemler bilinmeyen olarak işaretlenerek analize dâhil edilmiştir. Kazazedenin yaş kategorik değişkenine ait kayıp veriler rastgele dağıldığı için tahmin edilmiştir.

İşçi kusur oranı, sorumlu şirket kusur oranı ve diğer şirketler kusur oranı değişkenlerine ait kayıp gözlemler 5’ten az olduğu için kayıp verilere rastgelelik analizi yapılamamaktadır. Fakat, kayıp değerler az olduğu için doğrudan tahmin edilebilir. Dolayısı ile bu değişkenlere ait kayıp veriler için seri aritmetik ortalaması yöntemi ile tahmin yapılmıştır. Bu yöntemin kullanılma sebebi verilerin nicel dağılıma sahip olması ve veriye ait ortalamanın, verinin konum ölçüsü olarak kullanılabilmesidir. Ayrıca kategorik değişkenlerde konum ölçüsü olarak medyanın kullanılmasından dolayı, toplu

koruyucu önlemlerin varlığı, kişisel koruyucu önlemlerin varlığı, son durum, yapı tipi ve kazazedinin yaşı değişkenlerine ait kayıp veriler de seri medyanı yöntemi ile tahmin edilmiştir.

Kayıp veri problemi giderildikten sonra kazazedinin son durumu (geçici iş göremezlik, sürekli iş göremezlik, malul ve ölüm) değişkeninin bağımlı değişken olduğu bir YSA modeli tasarlanabilir.

Yapay Sinir Ağları

Canlılara ait eğitilebilme, farklı koşullara adapte olabilme ve öğrenebilme özellikleri bir fonksiyon yardımı ile matematiksel olarak modellenilebilir. İnsan beyninin temel özelliklerinden olan öğrenme, hatırlama, genelleme yapma ve mevcut bilgilerden yeni çıkarımlar yapma gibi işlevler, biyolojik sinir sistemi yardımı ile bilgi işlenerek oluşmaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA) bu bilgi işleme tekniğinin bilgisayar sistemlerinde yazılımlar yardımıyla taklit edilmesidir. Böylece biyolojik nöron hücreleri ve bu nöron hücrelerinin aralarında oluşan bağlar dijital olarak modellenmiş olur. YSA bir öğrenme işleminden sonra çıktı olarak elde ettiği bilgiyi depolayabilir ve genelleme yapabilir.

Bir YSA modelinde bilgi, örneklerden öğrenme süreci yoluyla elde edilir. Bu YSA modelinde birbirlerine farklı yollarla bağlı yapay sinir hücreleri (nöronlar) bulunur. Bu yapay sinir hücreleri, diğer yapay sinir hücreleri ile ağırlıklandırılmış bağlantılar aracılığıyla bağlanmıştır (Fausett, 1994). Yapay sinir ağının sahip olduğu bilgi, bu ağırlık değerlerinde saklı olup ağın geneline yayılmış haldedir (Öztemel, 2012).

Yapay Sinir Ağlarının sahip olduğu birtakım dezavantajlar vardır. Bunlar oluşturulacak olan ağın yapısının belirlenmesi, ağ parametrelerinin seçimi gibi işlemlerin belirli bir standardının olmamasıdır. Bununla birlikte, YSA'da problemler sadece nümerik bilgiler ile gösterilebilir ve YSA'da örneklem yoluyla ağ eğitilirken eğitimin ne zaman bitirileceği belirsizdir. Ayrıca ağ sisteminin içinde ne olup bittiği bilinmemektedir. Bazı özel YSA'ları hariç kararlılık analizi yapılamaz. Bu saydığımız dezavantajlarına rağmen spesifik olarak, kategorilere ayırma, örüntü tanıma, sinyal işleme, veri sıkıştırma çalışmalarında YSA en güçlü yöntemlerdendir (Öztemel, 2012). YSA güçlü modelleme özelliği sayesinde finansal ve ekonomik tahmin yöntemi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, YSA çeşitli doğrusal olmayan fonksiyon formundaki verilerde ve parametrik olmayan verilerde etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir (Liliana ve Napitupulu, 2010).

Yapay sinir ağlarının yapısı ve temel elemanları

Yapay sinir ağları biyolojik sinir sisteminden etkilenerek geliştirilmiştir. Biyolojik sinir hücreleri birbirleri ile synapsler vasıtası ile iletişim kurarlar. Bir sinir hücresi işlediği bilgileri axon'lar yolu ile diğer hücrelere gönderirler. Tablo 13'te biyolojik sinir sistemi elemanları ile taklit edilmiş yapay sinir ağlarındaki karşılıkları verilmiştir.

Tablo 13. Biyolojik sinir sistemi ve karşılık gelen YSA elemanları

Biyolojik sinir sistemi	Yapay sinir ağları
Nöron	İşlemci elemanı
Dentrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Biyolojik sinir sistemine benzer şekilde yapay sinir hücreleri dışarıdan gelen bilgileri (girdi değişkenini) bir fonksiyon yardımı ile toplar ve aktivasyon fonksiyonu yardımı ile çıktıyı üretip ağın bağlantılarının üzerinden diğer nöronlara gönderir. Tablo 13'te görüldüğü gibi bir yapay hücre modeli beş elemandan oluşmaktadır. Bunlar; işlemci elemanı, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu, yapay nöron çıkışı ve ağırlıklardır (Bayata ve Hattatoğlu, 2014). Çok çeşitli toplama ve aktivasyon fonksiyonları vardır. Yapay sinir ağlarını birbirlerine bağlayan değerlere ağırlık denmektedir. Bu ağırlıklar biyolojik sinir sistemindeki sinapslara karşılık gelir. Bu ağırlıklar bilginin taşınmasında kilit role sahiptir. Fakat bu ağırlıklar tek başlarına bir anlam ifade etmezler ve yorumlanamazlar. YSA'nın temel işleyişi bir fonksiyon yardımıyla denklem 1'deki gibi ifade edilebilir

$$s = \sum w_i x_i + \varepsilon, \quad y = f(s) \quad (1)$$

Denklem 1'de w (hücre ağırlıklar matrisi) ile x (hücre giriş vektörü, giriş nöronları) çarpımına ε (bias)'ın eklenmesi ile s (hücre net girişi) elde edilir. Daha sonra s değerleri f transfer fonksiyonu ile y (hücre çıkışı) değerleri elde edilir.

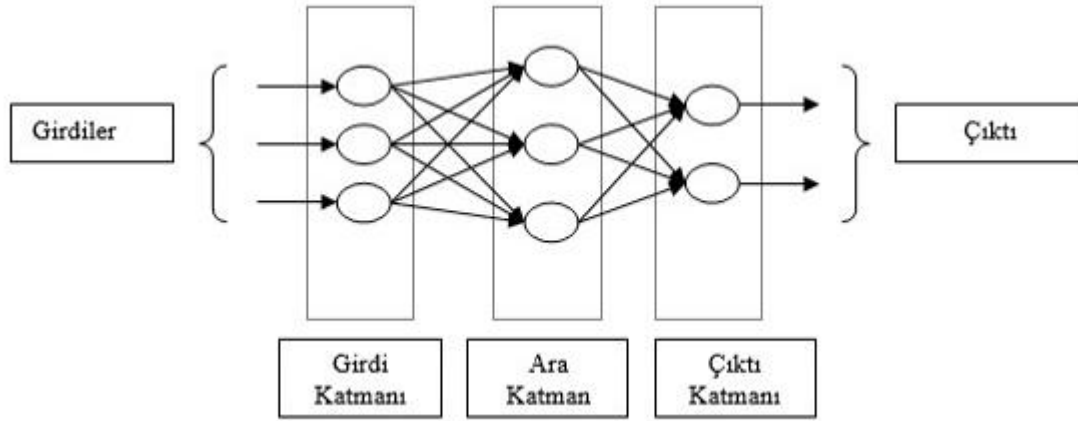
Bir YSA modeli genel olarak üç katmandan oluşur. Bunlar sırasıyla girdi katmanı, ara katman(lar) ve çıktı katmanıdır. Girdi katmanı dışarıdan bilgileri alan nöronlara sahiptir. Bu girdi nöronları bilgiye herhangi bir işlem uygulamadan diğer katmanlara iletir. Çıktı katmanı ise bilgiyi çıktı olarak veren nöronlara sahiptir. Girdi ve çıktı katmanları tek katmandan oluşuyor iken bu iki katman arasında ara (gizli) katman sayısı bir veya birden çok olabilir. Ara katman(lar)da bulunan nöronlar ağın içindeki diğer nöronlarla bağlantılıdır. Ara katmandaki bir nöron katmanından önceki katmandaki bütün nöronlardan sinyal yoluyla bilgi alır, bu bilgiyi işledikten sonra elde ettiği çıktısını bir sonraki katmandaki bütün nöronlara gönderir. Bilgi işlemeyen kasıt nörona gelen bilgilerin ağırlık değerleri kullanılarak çıktıya dönüştürülmesidir. Bu durum nihai çıktı için ileri besleme patikası oluşturur. Sonuç olarak, ağın girdiler için doğru çıktıları üretebilmesi doğru ağırlıkların kullanılmasına bağlıdır. Doğru ağırlıkların bulunması işlemine ağın eğitilmesi denmektedir. Bu ağırlık değerleri model ilk kurulduğunda tesadüfi olarak atanırlar. Daha sonra eğitim sırasında her örnek ağa girdiğinde ağın öğrenme kuralına göre (ileriye beslemeli ağlarda hata minimize edilene kadar) ağırlıklar değiştirilir. Daha sonra başka bir örnek ağa sunularak ağırlıklar yine değiştirilir ve en doğru değerleri bulunmaya çalışılır. Bu işlemler ağ eğitim setindeki bütün örnekler için tekrarlanır. Daha sonra test setindeki

örnekler ağa gösterilir. Eğer ağ test setindeki örneklere doğru cevaplar verirse ağ eğitilmiş kabul edilmektedir (Öztemel, 2012).

Bir YSA modelinin karakteristik özellikleri; ağın topolojisi, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu, öğrenme stratejisi ve kuralıdır. Geliştirilen ileri beslemeli YSA modelleri arasında en yaygın olarak kullanılanlardan biri de çok katmanlı algılayıcılar modelidir (Söyler ve Kızılkaya, 2018).

Çok katmanlı algılayıcı ağları

Çok Katmanlı Algılayıcı Ağları (ÇKA) girdi katmanı, ara (gizli) katman ve çıktı katmanından oluşur. (Bkz. Şekil 1). Girdi katmanı, dış dünyadan bilgileri alan giriş nöronlarına sahiptir. Bu girdi nöronları bilgiye herhangi bir işlem uygulamadan diğer katmanlara iletir. Ara katmanlarda ise girdi katmanından gelen bilgileri işlerler. Bir adet ara katman ile doğrusal olmayan birçok problemi çözmek mümkündür.



Şekil 1. Bir gizli katmana sahip çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağları örneği
(Url-3:<https://www.hostingdergi.com.tr/yapay-zeka-ve-sinir-aglari>)

Eğer ağ tarafından öğrenilen veri setinde girdi/çıkı arasındaki ilişkisi doğrusal değilse ve ağ yapısı karmaşıksa birden fazla ara katmanda ağ yapısında yer alabilir. Çıktı katmanında, ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ürettiği bilgi çıktı olarak bulunur. Bu çıktı ağın dışına iletilir. Girdi ve çıktı katmanlarında kaç tane süreç elemanının olması gerektiğine veri setinin özelliğine göre karar verilir. Kaç tane ara katmanın olacağı ve her birinde kaç nörona ihtiyaç olduğunu gösteren bir yöntem yoktur. Bu sayılar deneme yanılma yolu ile belirlenebilir. Girdi katmanındaki nöronların her biri ile ara katmandaki her nöron birbirlerine bağlıdır. Ara katmandaki her nöron da çıktı katmanındaki nöronların her birine bağlıdır. Sinyal akışı ileri yönlüdür. ÇKA modelinde ağ “genelleştirilmiş delta kuralına” göre eğitilmektedir. ÇKA ağları öğretmenli öğrenme stratejileri kullanırlar. Dolayısı ile bu tür modellerde ağın eğitilmesi aşamasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık ağda üretilmesi gereken çıktılar ağa tanıtılır. Bütün bunlar gerçekleşirken öğrenmenin ana felsefesi eğitim sırasında ağın ürettiği çıktılar ile üretmesi beklenen çıktılar arasındaki hatanın ağda kullanılan ağırlıklar yardımı

ile minimize edilmesidir. Öğrenme sırasında önce girdiler ağı sunularak bu girdilere karışıklık gelen çıktılar üretilir. Daha sonra üretilen çıktı ile beklenen çıktı karşılaştırılarak aradaki hata geriye doğru dağıtılarak ağırlıklar değiştirilirler. ÇKA ağlarında örnek veri setinin seçimi, girdi ve çıktılarının ağı sunulması, girdi ve çıktılarının sayısal gösterimi, başlangıç ağırlık değerlerinin atanması, öğrenme ve momentum katsayılarının belirlenmesi, ağırlıkların çıktılardaki hatayı minimize edecek şekilde güncellenmesi, girdi ve çıktılarının ölçeklendirilmesi, durdurma ölçütünün belirlenmesi, ağların büyütülmesi ve budanması olayları ağ öğrenmesini etkileyen faktörlerdir.

ÇKA ağlarının eğitim performansını ölçmek için eğitim bittikten sonra ağın eğitim sırasında görmediği örnekler ağı gösterilerek bunlar hakkında ağın kararına bakılır. Eğer ağ görmediği örneklere doğru cevaplar üretiyorsa o zaman performansı iyidir denir (Öztemel, 2012).

Uygulama

Çalışmada YSA modeli oluştururken kazazedelerin kazadan sonraki halini ifade eden son durum değişkeni bağımlı değişken olarak alındı. Açıklayıcı (bağımsız) değişken olarak beş nicel değişken (işçi kusur oranı, sorumlu şirket kusur oranı, diğer şirketler kusur oranı, üçüncü şahıs kusur oranı, kaçınılmazlık oranı) ve 19 nitel değişken (mevsim, gün, hafta içi/sonu, kaza anı, bölge, il, proje tipi, yapı tipi, kişisel ya da toplu koruyucu önlemlerin varlığı, kazazedenin görevi, kazazedenin yaşı, uzuv kaybı, denge kaybı, dikkatsizlik, çökme-göçme, bakım-onarım eksikliği, denetim eksikliği, eğitim eksikliği) yer aldı. Değişkenlere yeniden ölçekleme olarak standardizasyon uygulanmıştır. Veri setinin %75'lik kısmı (135/185) eğitim verisi, %25'lik kısım (46/185) ise test verisi olarak kullanılmıştır.

Ara (gizli) katman aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant, sigmoid ve softmax, çıktı katmanı aktivasyon fonksiyonu olarak ise identity, softmax, hiperbolik tanjant, çapraz entropi ve sigmoid aktivasyon fonksiyonları denenmiştir. ÇKA modellerinde en iyi mimariyi elde edebilmek için denenmiş farklı aktivasyon fonksiyonları ve nöron sayılarından en iyi performansa sahip 10 model Tablo 14'te gösterilmiştir.

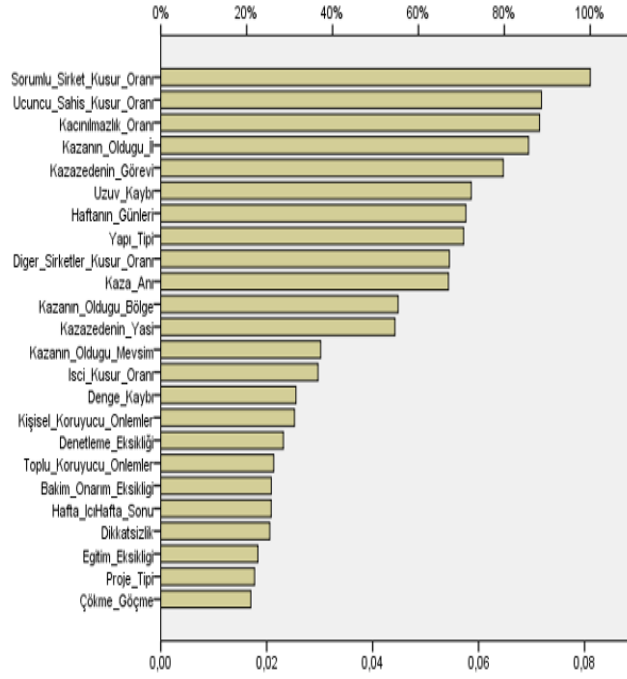
Tablo 14. En iyi performansa sahip ÇKA modelleri

Modeller	Gizli Katman Aktivasyon Fonksiyonu	Çıktı Katmanı Aktivasyon Fonksiyonu	Birinci Gizli Katman Nöron Sayısı	Eğitim Performansı	Test Performansı
Model 1	Softmax	Çapraz Entropi	4	53,2	61,0
Model 2	Softmax	Identity	4	56,6	52,9
Model 3	Hiperbolik Tanjant	Identity	11	74,1	78,3
Model 4	Hiperbolik Tanjant	Softmax	6	80,7	62,5
Model 5	Hiperbolik Tanjant	Hiperbolik Tanjant	3	75,6	69,5
Model 6	Hiperbolik Tanjant	Sigmoid	6	73,8	73,2
Model 7	Sigmoid	Identity	4	72,5	69,4
Model 8	Sigmoid	Softmax	4	76,9	72,5
Model 9	Sigmoid	Hiperbolik Tanjant	8	69,2	70,4
Model 10	Sigmoid	Sigmoid	4	82,8	66,7

Tablo 14'teki denemelerin sonuçları göz önüne alındığında en iyi performansa sahip ÇKA modelinin Model 3 olduğu görülmüştür. Model 3, diğer modellere göre bir inşaat kazası sonucu kazazedenin durumunu hem test verisinde hem de eğitim verisinde daha doğru tahmin etmiştir. Bu model, gizli katman aktivasyon fonksiyonu Hiperbolik tanjant, çıktı katmanı aktivasyon fonksiyonu identity ve ara (gizli) katman sayısı olarak bir katman ve bu bir katmanda 11 nöron olarak oluşturuldu.

İnşaat kazasında kazazedenin son durumunu tahmin etmek amacıyla oluşturulan ÇKA modelinde (Model 3), açıklayıcı değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini ifade etmek için açıklayıcı değişken önem analizi kullanılmıştır. Elde edilen açıklayıcı değişken önem analizi sonuçları Şekil 2'de görülmektedir.

Açıklayıcı değişkenlere ait normalleştirilmiş önem analizinde (Bkz. Şekil 2) görüldüğü üzere kazazedenin son durumuna etki eden en önemli nicel değişkenler sorumlu şirket kusur oranı, üçüncü şahıs kusur oranı ve kaçınılmazlık oranıdır. Kazazedenin son durumuna etki eden en önemli nitel değişkenler (faktörler) ise kazanın olduğu il, kazazedenin görevi, uzuv kaybı, haftanın günleri ve yapı tipi olarak elde edildi. Bu nitel değişkenler kazanın olduğu il değişkenine ait frekanslar incelendiğinde (Bkz. Tablo 3) bazı iller yüksek kaza oranına sahiptir. Son durum ile kazanın olduğu il, kazazedenin görevi, uzuv kaybı, haftanın günleri ve yapı tipi değişkenleri arasındaki kontenjan (olağanlık) katsayısı sırasıyla 0,58, 0,46, 0,43, 0,38 ve 0,38 dir.



Şekil 2. Kazazedenin son durumuna etki eden faktörlerin önem analizi

Kazazedenin son durumu için kazanın olduğu mevsim, kaza anı ve kazanın olduğu gün değişkeni açıklayıcı değişken önem analizinde yine üst sıralarda yer almaktadır. Kazanın olduğu mevsim değişkeninin frekansları incelendiğinde ilkbaharda daha fazla kaza olduğu görülmektedir (Bkz. Tablo 2). Diğer mevsimlerde ilkbahara nispeten daha az düzgün bir dağılım göstermektedir. Bu artışın bahar aylarında daha fazla çalışan kişi olduğu ile açıklanabilir. Ayrıca son durum değişkeni ile mevsim arasında 0,24 bir ilişki söz konusudur. Kaza anı ile kazazedenin son durumu arasında 0,35'lik bir ilişki bulunmaktadır. Ayrıca, kaza anı dikkatsizlik birlikte incelendiğinde aralarında 0,56'lık bir ilişki bulunmaktadır (Bkz. Tablo 15).

Tablo 15. Kaza anı ile Dikkatsizlik Arasındaki Simetrik Ölçüm

Değişkenler	Kontenjan (Olağanlık) Katsayısı	Geçerli Gözlem Sayısı
Kaza Anı & Dikkatsizlik	0,567 (0,000)	185

Ayrıca kaza anı ile dikkatsizlik çapraz tabloda incelendiğinde Tablo 16'daki değerler görülür.

Tablo 16. Dikkatsizlik & kaza anı çapraz tablo frekansları

	Bilinmiyor	0:00- 3:59	4:00- 6:59	7:00- 9:59	10:00- 12:00	12:45- 14:59	15:00- 17:59	18:00- 20:59	21:00- 23:59	Toplam
		Dikkatsizlik Yok	41	1	0	0	1	2	1	
Dikkatsizlik Var	19	4	2	18	37	19	21	12	6	138
Toplam	60	5	2	18	38	21	22	13	6	185

Kaza anı değişkeninde bilinmeyen kategorisi hariç diğer bütün kategorilerde dikkatsizliğin çoğunlukla var olduğu görülmektedir. Ayrıca saat dilimleri incelendiğinde öğle yemeğinden önceki 10:00-12:00 saat aralığında ve akşam yemeğinden önceki 15:00-17:59 saat aralığında diğer saat aralıklarına göre daha fazla kaza gerçekleşmiştir. Kaza anlarının son durum ile olan ilişkisi de göz önüne alındığında bu yüksek ilişkinin çalışanlarda açlıktan kaynaklanan açlık kan şekerinin düşmesi ya da açlığın tetiklediği başka bir sağlık sorunu nedeni ile kazaların meydana geldiği söylenebilir. Yapay sinir ağı modeli bilgi olarak kaza anından çok yararlandığı için dikkatsizlik oranı açıklayıcı değişken önem sıralamasında gerilerde kalmıştır.

Toplu koruyucu önlemlerin varlığından ziyade kişisel korucuyu önlemlerin varlığının kazazedenin son durumunu belirlemede daha önemli olduğu görülmektedir. Bu durum risk hiyerarşisi ile çelişmektedir. Fakat, bilirkişi örnek çalışmamızda 185 kazazedenin bilgileri incelendiğinde genel olarak kişisel ve toplu koruyucu önlemlerin olmadığı görülmektedir (Bkz. Tablo 4). Sadece bir kazada toplu korucuyu önlemlerin olduğu rapor edilmiş ve aynı kazada kişisel koruyucu önlemler yok diye işaretlenmiştir. Kişisel koruyucu önlemler değişkeninde ise sadece üç kazazedenin kişisel koruyucu önlemlerinin olduğu rapor edilmiştir. Böylesi bir durumda kişisel koruyucu önlemlerin varlığı, toplu koruyucu önlemlerin varlığına göre daha fazla bilgi içermektedir. Son durum ile toplu koruyucu önlemlerin varlığı değişkeni arasında 0,06, son durum ile kişisel koruyucu önlemlerin varlığı arasında 0,15'lik ilişki vardır. Bu durum risk hiyerarşisine uyulmama nedeni olarak gösterilebilir. Koruyucu önlemlerin her ikisi de açıklayıcı değişken önem sırasında gerilerde yer almaktadır. Fakat, genel de yok olarak raporlanan (Bkz. Tablo 4) bu iki değişkende önlemlerin var olması kazazedenin son durumu için bilgi taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında koruyucu önlemlerin var olduğu örneklerde kazazedenin son durumu için çok önemli olacağı söylenebilir.

Eğitim eksikliğinin gerilerde yer alması durumunu değerlendirecek olursak, eğitimin değişkeni ile son durum değişkeni ilişkisizdir (Bkz. Tablo 17).

Tablo 17. Ki-kare testi sonuçları

Pearson ki-kare	Sonuç
7,867 (0,05)	İlişki yoktur.

Sınıflandırma sonuçlarına (Bkz. Tablo 18) göre eğitim verisi genel doğruluk oranı %74,1 ve test verisi genel doğruluk oranı %78,3'tür. Eğitim verisini incelediğimizde modelin en iyi öğrendiği son durum, ölüm (%96,9) olarak görülmektedir. Sürekli iş göremezlik durumu, geçici iş göremezlik durumundan daha iyi öğrenilmiştir. Malül durumunun eğitim verisinde hiç öğrenilememesi 185 kazazedenen sadece 6 tanesinin malül olmasından kaynaklanmaktadır. Malül durumu için yeteri kadar veri olmadığı için YSA malül durumunu öğrenememektedir. Dolayısı ile test verisinde yer alan iki malül son durumuna sahip gözlemden biri sürekli iş göremezlik, bir diğeri ise ölüm olarak tahmin edildi. Bu hatalı durumun bir çözümü olarak veri seti ve gözlemler artırılabilir. Dolayısı ile malül son durumuna sahip daha fazla gözlem veri setinde yer alacaktır. Böylece malul durumu için YSA eğitilebilir ve doğru tahmin

edilebilir. İkinci bir çözüm olarak, her ne kadar SGK yönetmeliğinde çok farklı durumlar olsa da malül durumu ile sürekli iş göremezlik durumu birleştirilebilir. Böylece daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşılabilir.

Tablo 18. Sınıflandırma

Örneklem	Gözlemlenen	Tahmin edilen				Doğruluk oranı
		Sürekli İş Göremezlik	Ölüm	Malül	Geçici İş Göremezlik	
Eğitim	Sürekli İş Göremezlik	23	10	0	2	%65,7
	Ölüm	2	62	0	0	%96,9
	Malül	3	1	0	0	%0,0
	Geçici İş Göremezlik	6	11	0	15	%46,9
	Genel	%25,2	%62,2	%0,0	%12,6	%74,1
Test	Sürekli İş Göremezlik	4	0	0	0	%100,0
	Ölüm	4	28	0	1	%84,8
	Malül	1	1	0	0	%0,0
	Geçici İş Göremezlik	2	1	0	4	%57,1
	Genel	%23,9	%65,2	%0,0	%10,9	%78,3

Bağımlı Değişken: Son Durum

Sonuçlar

Dünyada iş kazası ve meslek hastalığı sonucu milyonlarca kişi hayatını kaybetmekte ya da çalışamaz hale gelmektedir. İş kazaları ve meslek hastalığı istatistikleri Türkiye özelinde daha kaygı vericidir. Netice olarak insanın can güvenirliliği ile alakalı olan bu durum sosyo-ekonomik olarak aileyi ve toplumu derinden etkilemektedir. Ekonomik olarak iş kazaları ve meslek hastalıklarının ülkemiz ekonomisine onlarca milyar TL maliyeti vardır. Ekonomilerin en temel problemlerinden olan işsizliğin yanında işgücü kaybı birlikteliği katlanarak büyüyen kartopu gibi ülke üretiminin gücünü kıran bir çıkış felaketine dönüşmektedir. Her meslek grubu veya sektörde meydana gelen iş kazalarına, inşaat sektöründe daha sık rastlanılmaktadır. Aslında birtakım önlemler ile çoğunluğu önlenemez olan bu kazalar genel olarak iş sağlığı ve güvenliği kültürünün tam oluşmadığı için kabul edilebilir sınırdan çok üzerindedir. İş kazalarının en önemli sonucu kazazedenin son durumudur. İnsani açıdan kazazedenin kaza sonucu ölmesi en hazine sonudur. Bu durum en kötü senaryo, en acı sonuçtur. Diğer durumda ise neyse ki yaşıyor diye düşünülür. SGK yönetmeliğine göre kaza sonucu yaşayan kazazedeler sağlık durumlarına göre geçici iş göremez, sürekli iş göremez veya malul olarak sınıflandırılır. Bunlardan sürekli iş göremezlik ve malül sürekli, geçici iş göremezlik ise geçici iş gücü kaybı anlamına gelir. Kazazedenin eski sağlığına kavuşamamasının neden olduğu psikolojik sorunlar ve bu sorunların tetiklediği depresyon hali başta kazazedenin aileleri olmak üzere toplumun rehabilitasyonuna ihtiyaç duyar.

Çalışmamızda, Türkiye inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarında en önemli değişken olan kazazedelerin son durumlarına etki eden faktörler ÇKA ile tespit edildi. 185 kazazedenin incelendiği çalışmada bazı değişkenlere ait eksik verilerin olduğu gözlemlendi. Eksik verilere ait değişkenlerin ÇKA modelinden çıkarılması bilgi kaybına neden olacağı için kayıp verilerin yapısı incelendi ve rasgele olanlar belirlendi. Uygun yerine atama yöntemleri ile kayıp veriler tamamlandı. Kayıp

verilerin tamamlandığı veri setin de Yapay sinir ağlarından ÇKA modeli kuruldu. Bu modelde ara(gizli) katman aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant ve çıktı aktivasyon fonksiyonu olarak identity modeli en iyi performansa sahip model olarak elde edildi. Tek gizli katmanın olduğu bu modelde 11 nöron yer aldı. Bu modelden elde edilen sonuçlara göre, sorumlu şirket kusur oranının kazazedenin son durumunu belirlemede en önemli değişken olduğu bulundu. Bu durum işverene ait olan şirketlerin iş sağlığı ve güvenliği noktasında eksiklere ve kusurlara sahip olduğunun en önemli göstergesi olmuştur. Bu kusur oranının derecesinin artması ölümle sonuçlanan kazaların artması anlamına gelmektedir. Kaçınılmazlık oranını, sonu kazaya çıkan ve kişi ile şirketlerin kusur oranlarını azaltan bir oran olarak tarif edersek, çeşitli karar ve alternatiflerin kazayı engelleyemeyeceği görüşü ile hesaplanır. Bu oranın da kazazedenin son durumunu belirlemede önemli olduğu görülmektedir. Kazanın olduğu il ya da kazanın olduğu bölgenin önemli bir faktör olması coğrafi farklılıkların, nüfus yoğunluğunun etkisi ile açıklanabilir. Ayrıca illerdeki iş alanlarının kaza riski yüksek olan işler olması da etken olarak sayılabilir.

Ayrıca illerdeki eğitim ve denetleme eksikliği birlikte incelendiğinde kontenjan (olağanlık) katsayısı 0,67 olduğu için aralarında güçlü bir ilişki bulunmaktadır (Toktamış ve Türkan, 2017). Tablo 19’da görüldüğü gibi denetleme eksikliği yoksa eğitim eksikliği de yok, denetleme eksikliği varsa büyük oranda eğitim eksikliği var denebilir.

Tablo 19. Eğitim eksikliği * denetleme eksikliği çapraz tablo frekansları

	Denetleme Eksikliği Yok	Denetleme Eksikliği Var	Toplam
Eğitim Eksikliği Yok	41	7	48
Eğitim Eksikliği Var	0	137	137
Toplam	41	144	185
Pearson Ki-Kare	150,339 (0,000)	İlişki vardır.	

Eğitim faktörünün iş sağlığı ve güvenliği bilincini işverenden işçiye kadar sahadaki herkesin benimsemesi için hayati öneme sahip olduğu aşikâr. Ayrıca bu eğitimlerin amacına ulaşip ulaşmadığının denetlenmesi süreci tamamlayacaktır. Denetlemedeki görev kamuya düşmektedir. Tablo 18’de bu iki faktörün birbirinden ayıramayacağı ispatlanmıştır. Ayrıca, eğitim ve denetleme konusunda illerde heterojen bir yapı mevcuttur. Örneğin, Zonguldak ve diğer illerin tamamı karşılaştırıldığında eğitim konusunda çarpık bir tablo ile karşılaşmaktadır (bkz. Tablo 20).

Tablo 20. Eğitim eksikliği * kazanın olduğu il çapraz tablo frekansları

	Diğer İller	Zonguldak	Toplam
Eğitim Eksikliği Yok	8	40	48
Eğitim Eksikliği Var	131	6	137
Toplam	139	46	185

Kazazedenin görevi de yine kazazedenin son durumu için önemli bir faktör olarak elde edildi. Kaza anı değişkeninde eksik verilerin rasgele dağılmamasından dolayı yeniden atanamamış olmasına rağmen önemli bir faktör olarak elde edilmesi, kazazedenin sabah saatlerinde, işe ilk başladığında işe uyumunda meydana gelen eksiklik, yemekten önce açlıktan dolayı kazazede de meydana gelen dikkatsizlik veya ilerleyen saatlerde meydana gelen yorgunluktan doğan dikkatsizlik etkili olmuş olabilir.

Bütün bu bulgular ışığında insan sağlığının en önemli şey olduğu ve iş sağlığı ve güvenliğinin önemi çalışanların ve işverenlerin zihnine kazınmalıdır. Bu ise eğitim ile olur ve denetimle devamlılığı sağlanır. Burada kamuya düşen iş sağlığı ve güvenliği konusunda eğitimlerin adetini artırmak olmalıdır. Özellikle işçi, bekçi ve usta gibi eğitim seviyesi düşük çalışanlarda eğitim programları daha yoğun olmalıdır. Yine kaza anlarının açıklıkla ve yorgunlukla bağlantısı kurulduğu için çalışanların dinlenebilecekleri ve bir şeyler atıştırabilecekleri çay molaları programlanmalıdır. İnsanı merkeze alan bu yaklaşımların hâkim kılınması bazı devlet teşvikleri ile cazip hale getirilebilir. Burada her şeyi devletten beklemek doğru bir yaklaşım değildir. İşçi sorumluluklarını ve haklarını bilmeli, işveren üzerine düşen risk değerlendirme yükümlülüğünü tam olarak yerine getirmelidir. Devlet yetersiz olan müfettiş sayısını artırmalı ve denetimleri sıklaştırmalıdır. Böylece akademik ve mesleki eğitimler (genel ve özel) vermek ve gerekli araç ve teknolojileri geliştirilerek iş kazalarının önlenmesine katkıda bulunmak üniversite-sanayi-kamu güç birliği ile mümkün olacaktır.

Bu çalışmanın sınırlılığı, çalışmada kullanılan verilerin çok güncel olmamasıdır. Bundan sonraki çalışmada konu hakkında daha güncel veriler ile analiz yapıp genel bir sonuca varılabilir. Gelecekte gerçekleştirilmesi düşünülen araştırmada, bu çalışmada kullanılan veri toplama araçları kullanılarak ülke genelindeki son 10 yılda yaşanan inşaat sektörü iş kazaları analiz edilerek bu çalışma ile kıyaslanması şeklinde yorumlanması amaçlanmaktadır.

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

Aghazadeh E., Baytekin Ş., Bilir S., Genç K., Timurlenk İ., Yılmaz BS., Güranlı GE. Dünya da ve Türkiye de yapı makineleri üretimi ve makina tiplerine göre kullanım değerleri üzerine bir araştırma. 4. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 1-3 Kasım 2013, Konya.

Alpar R. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş 1. Ankara: Nobel Basımevi; 2003.

Baradan S., Akboğa Ö., Çetinkaya U., Usmen MA. Ege bölgesi inşaat sektöründe yüksekten düşme kazalarının istatistiksel incelemesi. 4. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu. 1-3

- Kasım 2013, sayfa no:139–48, Konya.
- Baradan S., Dikmen Ü., Müngen U., Aytekin O., Sönmez G. Türkiye’deki iş sağlığı ve güvenliği hizmetleri mevzuatının inşaat sektörü açısından incelenmesi. Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi 2011; 469(5): 6–14.
- Baradan S. Türkiye inşaat sektöründe iş güvenliğinin yeri ve gelişmiş ülkelerle kıyaslanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2006; 8(1): 87-100.
- Bayata H., Hattatoğlu F. Yapay sinir ağları ve çok değişkenli istatistik yöntemlerle trafik kaza modellenmesi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2014; 3(2): 207-219.
- Bostancı Y. İş sağlığı ve güvenliğinde idari para cezaları ve itiraz usulü. 4. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu,. 1-3 Kasım 2013: sayfa no:57–82, Konya
- Ceylan H. Analysis of occupational accidents according to the sectors in Turkey. Gazi University Journal of Science 2012; 25(4): 909–918.
- Ceylan H. Türkiye’de inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının analizi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi 2014; 6(1): 1–6.
- Demir A., Öz A. Teolojik açıdan iş kazalarının incelenmesi. European Journal of Science and Technology 2018; 14: 189–197.
- Erdiş E., Temel CD., Gerek IH., Coşkun H. İnşaat işlerinde yüksekten düşmeyi etkileyen faktörler ve sonuçları,. 4. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu. 1-3 Kasım 2013, sayfa 161–71, Konya.
- Fausett LV. Fundamentals of neural networks : Architectures, algorithms, and applications. New Jersey: Prentice-Hall; 1994.
- Gaye B. Yeni düzenlemeler açısından inşaat işverenin iş sağlığı ve güvenliği yükümlülükleri. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi 2011; 60(2): 227–253.
- Genç O., Erdiş E., Oral E. İnşaat firmalarının karşılaştıkları potansiyel risklerin proje başarısına etkisi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering 2018; 23(1): 441–450.
- Güneş B. İş kazası ve meslek hastalıklarında Sosyal Güvenlik Kurumu’nun işverene rücu hakkı. Galatasaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- Kabakçı M. Avrupa Birliği iş hukukunda işverenin iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili temel yükümlülükleri ve Türk mevzuatının uyumu. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- Kalaycı Ş. SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri. Ankara: Asil Yayın Dağıtım; 2010.
- Karadeniz O. Dünya’da ve Türkiye’de iş kazaları ve meslek hastalıkları ve sosyal koruma yetersizliği. Çalışma ve Toplum 2012; 34(3): 15-75.
- Köse İA., Öztumur B. Kayıp veri ele alma yöntemlerinin *t*-testi ve ANOVA parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 2014; 14(1): 400–412.
- Liliana ST, Napitupulu TA. Artificial neural network application in gross domestic product forecasting: an indonesia case. 2010 Second International Conference on Advances in

- Computing, Control, and Telecommunication Technologies. IEEE, 2010: 89–93.
- Mecek H. Ceza muhakemesinde bilirkişilik. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya Türkiye, 2011.
- Mıstıkoğlu G., Erdis E., Genc O., Yıldız O. Çatı ve cephe kaplamalarında yüksekte düşmeyi etkileyen faktörlerin analizi. İzmir İnşaat Mühendisleri Odası 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 5-6 Kasım 2015, sayfa no: 157-166, İzmir.
- Mohammadfam, I., Soltanzadeh A., Moghimbeigi A., Savareh BA. Use of artificial neural networks (ANNs) for the analysis and modeling of factors that affect occupational injuries in large construction industries. *Electronic Physician* 2015; 7(7): 1515-1522.
- Onaran C. Makine imalat sektöründe meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarının mevcut mevzuatlar çerçevesinde değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Denizli, Türkiye, 2008.
- Öztemel E. Yapay sinir ağları. 3. Basım. İstanbul: Papatya yayıncılık; 2012.
- Soltanzadeh A., Mohammadfam I., Moghimbeigi A. P153 Predicting and determining factors of occupational accidents severity rate (ASR) using artificial neural networks (ANN); a case study in construction industry. *Occupational and Environmental Medicine* 2016; 73: 171-172.
- Söyler H., Kızılkaya O. Para krizlerinin yapay zeka yöntemleri ile tahmini: Türkiye örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi* 2018; 18: 649–666.
- Sözen Ş., İnce H., Dikici F., Dıraçoğlu D., İnce N. Maluliyet (meslekte çalışma gücü kayıplarının) hesaplanması. *Klinik Gelişim Dergisi* 2009; 22(19): 122–125.
- Şamiloğlu E. Türk sosyal güvenlik hukukunda iş kazası ve meslek hastalıkları sigortası. Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya Türkiye, 2008.
- Tanır F. İş Sağlığı ve güvenliği kurulları eğitim rehberi., 2014.
- Tarman ZD. Bilirkişilik sözleşmesinin hukuki niteliği ve bilirkişinin üçüncü kişiye karşı olan sorumluluğu. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2005.
- Toktamış Ö, Türkan S. R programı ile temel istatistiksel yöntemler. Ankara: Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar;2017.
- Url-1: <https://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm>. (Erişim: 18.09.2020).
- Url-2: <http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/> (Erişim: 18.09.2020).
- Url-3: <https://www.hostingdergi.com.tr/yapay-zeka-ve-sinir-aglari/> (Erişim:18.09.2020)
- Usmen M., Baradan S. İnşaat sektöründe işçi sağlığı ve iş güvenliği alanındaki iyileştirmeleri etkileyen faktörler: ABD örneği. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi* 2011; 469(2011/5): 40–48.
- Ünal C. İş güvenliği iş kazaları ve risk analizinin yapı maliyetlerine etkisi. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Türkiye, 2017.
- Ünal MÖ., Aykaç B. Yapı işlerinde asansör kazaları ve güvenlik önlemleri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* 2010; 2(2): 13–19.

Kür Sıcaklığının Alkali Aktivasyonlu Lifli Betonunun Kırılma Özelliklerine Etkisi

Ümit YURT^{1*}

¹Düzce Üniversitesi, Düzce MYO, İnşaat Bölümü, 81010, Düzce

¹<https://orcid.org/0000-0001-6009-6786>

*Sorumlu yazar: umityurt@duzce.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.09.2021

Kabul tarihi: 21.10.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Alkali aktivasyonlu lifli beton

Basınç ve eğilme dayanımı

CMOD

İki parametrelî model

Kırılma enerjisi

Sıcaklık

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, farklı aktivasyon sıcaklığında (30 °C, 60 °C, 90 °C) dayanım kazanan alkali aktivasyonlu lifli betonların (AALB) kırılma özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla 50x100x480 mm boyutlarında 10 mm çentik uzunluğuna sahip kiriş örnekler üretilmiştir. İki parametrelî yöntem ile, Yük-CMOD grafiği altında kalan alanlar hesaplanarak kırılma enerjisi değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan değerler üzerinden kırılma enerjisine sıcaklık kürünün etkisi, basınç ve eğilme dayanımı değerleri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak aktivasyon sıcaklığının artışı ile kırılma enerjisi değerlerinde önemli bir artış olduğu görülmüştür. Lif oranı 1kg/m³ olan örneklerde aktivasyon sıcaklığının artışına bağlı olarak %91,60 oranında artış gerçekleşmiştir. Yüksek dayanımlı AALB'ler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda en yüksek kırılma enerjisi değerine 90 °C sıcaklık kürü uygulanan örnekler ulaşmıştır. En yüksek basınç ve eğilme dayanımı sırasıyla 82 MPa ve 3,78 MPa olarak elde edilmiştir.

Effect of Curing Temperature on Fracture Properties of Alkali-Activated Fiber Concrete

Research Article

Article History:

Received: 29.09.2021

Accepted: 21.10.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Alkali-activated fiber concrete

Compressive and flexural strength

CMOD

Two parameter model

Fracture energy

Temperature

ABSTRACT

Within the scope of this study, the fracture properties of alkali-activated fiber concrete (AAFC) that gain strength at different activation temperature (30 °C, 60 °C, 90 °C) were investigated. For this purpose, beam specimens with dimensions of 50x100x480 mm and a notch length of 10 mm were produced. With the two-parameter method, the fracture energy values were obtained by calculating the areas under the Load-CMOD graph. The effect of temperature curing on fracture energy over calculated values was investigated comparatively with compressive and flexural strength values. As a result, it was observed that there was a significant increase in the fracture energy values with the increase of the activation temperature. In the samples with a fiber ratio of 1kg/m³, there was an increase of 91.60% due to the increase in the activation temperature. As a result of the experiments performed on high-strength AAFCs, the specimens that were cured at 90 °C reached the highest fracture energy value. The highest compressive and flexural strengths were obtained as 82 MPa and 3.78 MPa, respectively.

To Cite: Yurt Ü. Kür Sıcaklığının Alkali Aktivasyonlu Lifli Betonunun Kırılma Özelliklerine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):176-188.

Giriş

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemeleri arasındadır (Turner ve Collins, 2013; Thomas ve Peethamparan, 2015). Yapıların tasarım ve yapım sürecinde, sürdürülebilir çevreci yaklaşımların benimsenmesi çimentonun üretim sürecinde ortaya çıkan zararlı etkileri azaltma

noktasında katkı sağlayacaktır. Çimento üretimi dünya genelinde CO₂ salınımının yaklaşık %7'sinden sorumlu tutulmaktadır (Meyer, 2009; Pasupathy ve ark., 2016; Kaya, 2020). Çimento kaynaklı CO₂ salınımının azaltılmasına yönelik, sürdürülebilir çevre dostu kompozit yapı malzemeleri üzerine araştırmalar giderek artmaktadır (Liu ve ark., 2020; Kaya, 2020; Gómez-Casero ve ark., 2021; Huang ve ark., 2021; Masi ve ark., 2021).

Son yıllarda çimento esaslı bağlayıcı malzemeler yerine sentetik alüminosilikat sınıfına giren geopolimerler kullanılmaktadır. “Geopolimer” terimi alüminasilikat içerikli malzemelerin alkalilerle aktive edilmesiyle oluşan yapıyı tanımlamak için kullanılmıştır. (Davidovits, 2017; Çelikten ve Atabey, 2021). Geopolimerler alkali aktivatörlerle düşük sıcaklıklarda (genellikle 100 °C altında) üretilen ve kovalent bağlı mineral moleküllerinin zincirlerinden oluşan seramik benzeri inorganik bileşik olarak tanımlanabilir. Kullanılan mineral malzemenin kimyasal içeriğine göre değişen sıcaklık değerlerinde dayanım kazanabilir. Aktivasyon sıcaklığının artışına bağlı olarak belirli bir sıcaklık değer aralığında (Yaklaşık 30 °C-120 °C) dayanım gelişiminin olumlu etkilendiği bilinmektedir. Alüminosilikatlar ise, ana oksitleri silisyum oksit (SiO₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) olan, doğal ya da sonradan ısı işlem sonucu amorf yapıya sahip malzemelerdir (Tuyan ve ark., 2020). Özellikle ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu (İÖYFC), Uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü, metakaolin vb. toz malzemeler geopolimer ve alkali aktivasyonlu beton üretiminde kullanılmaktadır. Bu sayede çevreye zararlı atıkların yapı sektöründe kullanımı sağlanırken, aynı zamanda atıklar bertaraf edilerek kompozit yapı malzemeleri üretmek mümkün olabilmektedir (Zhang ve ark., 2020). Hali hazırda mevcut çözümler arasında, alkaliler ile aktifleştirilmiş bağlayıcı, ekonomik, çevresel ve teknik avantajları nedeniyle en umut verici adaylardan biri olarak ilgi uyandırmaktadır (Aydın ve Baradan, 2013; Yu ve ark., 2014; Thomas ve Peethamparan, 2015; Huang ve ark., 2021). Alkali aktivatörler kullanılarak çevreye zararlı atıkların değerlendirildiği, çimentosuz yapı malzemeleri ile alakalı çalışmalara olan ilgi her geçen gün artmaktadır (Yurt ve ark., 2020; Ding ve ark., 2016; Oğuz ve Emiroğlu, 2016; Kaya, 2020; Yurt, 2020a; Yurt, 2020b; Çelikten ve Atabey, 2021). Literatürde, alkali aktivasyonu sonucunda oluşan yapıya ve karışıma giren malzemelerin kimyasal içeriğine bağlı olarak geopolimer beton, cüruf beton, alkali aktivasyonlu beton vb. isimlendirmeler yapılmaktadır. Çimento benzeri oluşan kimyasal yapı, genel olarak alkali aktivasyonlu beton, cüruf beton vb. olarak adlandırılmaktadır.

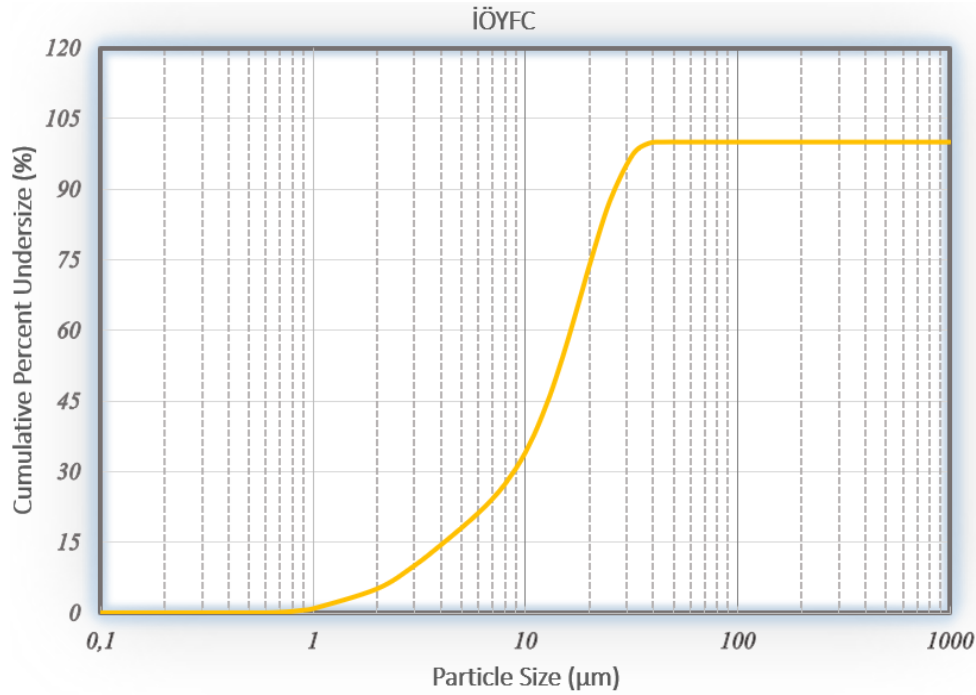
Beton gibi farklı özelliklerdeki malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit yapının bünyesinde kusurlar olabilmektedir. Bu kusurlar, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri sonuçlarına göre değerlendirildiğinde, anlaşılır sonuçlar elde edilemeyebilir. Ancak geleneksel tasarım yöntemlerine kıyasla kırılma mekaniği yaklaşımı ile malzeme bünyesinde bulunan kusurlar, kılcal çatlaklar vb. hesap tasarımına dahil edilerek daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilir. İki parametrelili kırılma modeli ile malzeme bünyesinde bulunan kusurların tasarıma dahil edildiği çalışmalar bulunmaktadır (Shah ve ark., 1995; Arslan, 2016; Bideci ve ark., 2017).

Bu çalışma kapsamında farklı aktivasyon sıcaklığına tabi tutulan sertleşmiş alkali aktivasyonlu lifli

beton (AALB) örnekler üzerinde iki parametrelili kırılma modeli ile testler gerçekleştirilmiştir. Yük-CMOD eğrisi altında kalan alanlar hesaplanarak sönmülenen enerji miktarları bulunmuştur. Sonrasında kırılma enerjileri hesaplanarak, Aktivasyon sıcaklığındaki değişimin, kırılma enerjisi, basınç ve eğilme dayanımı değerlerine etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca lif oranının değişimine bağlı olarak kırılma enerjisi, basınç ve eğilme dayanımı değerlerindeki değişim incelenmiştir. Aktivasyon sıcaklığının kırılma özellikleri üzerindeki etkisinin dayanım değerleri ile karşılaştırmalı olarak incelendiği bu çalışma bu yönüyle literatüre katkı sağlayacaktır.

Materyal ve Metot

Karışımlarda kullanılan İÖYFC Bolu çimento öğütme tesisinden temin edilmiştir. İÖYFC'ye ait dane dağılımı grafiği Şekil 1'de görülmektedir. İÖYFC'ye ait detaylı bilgiye daha önce gerçekleştirilen çalışmalardan ulaşılabilir (Yurt, 2020).

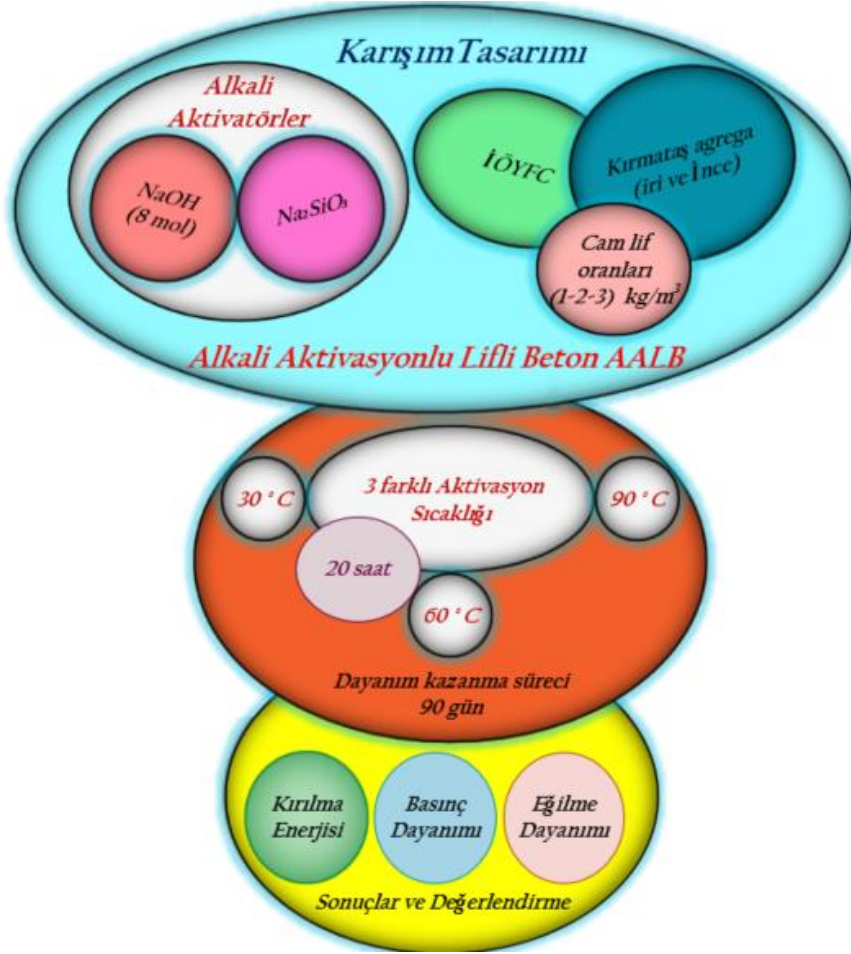


Şekil 1. İÖYFC 'ye ait dane dağılımı grafiği

İnce ve iri agrega kireçtaşı kökenli olup maksimum dane boyutu 12 mm'dir. Alkali aktivatörlerden sodyum hidroksit (NaOH) pelet halde ve %98 saflıkta 25 kg'lık paketler halinde yakın bir bölgeden temin edilmiştir. Karışım için gerekli olan NaOH, belirlenen molarite değerinde sulu çözelti olarak hazırlanmıştır. Sodyum silikat (Na_2SiO_3) ise 50 kg'lık kaplarda sıvı olarak temin edilmiştir.

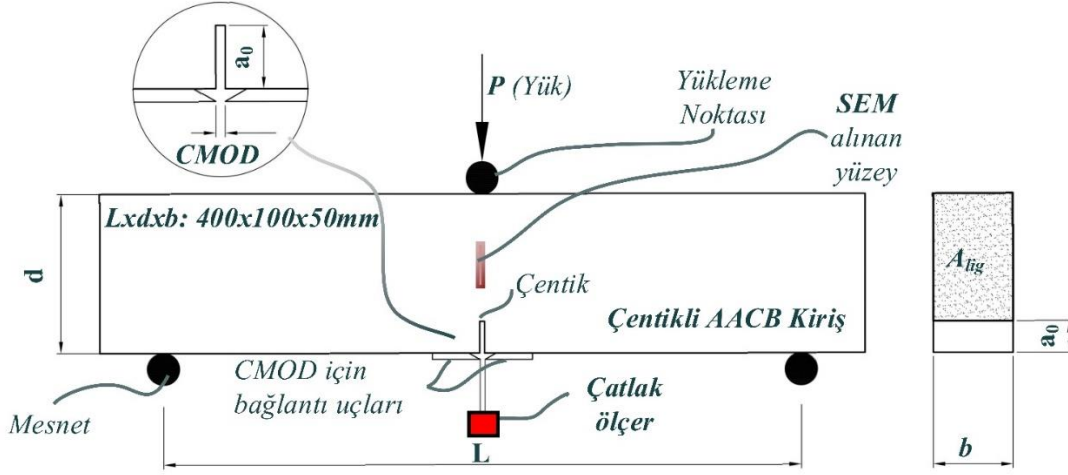
Karışımlarda kullanılan alkali aktivatörlere ait detaylı bilgiye daha önce gerçekleştirilen çalışmalardan ulaşılabilir (Yurt, 2020a; Yurt, 2020b; Yurt ve ark., 2020; Yurt ve Emiroğlu, 2020). AALB karışımlarında kullanılan malzeme oranları $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$: 3/2, $(\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3)/\text{İÖYFC}$: 2/5, İri agrega/İnce agrega: 3/2, Toplam agrega/İÖYFC: 2,25 oranlarında kullanılmıştır. Cam lif,

karışımlarda ağırlıkça 1 kg/m³, 2 kg/m³ ve 3 kg/m³ oranlarında, ortalama uzunluğu 12 mm olan korozyona dayanıklı lif kullanılmıştır. AALB karışımlarının hazırlanmasında ilk olarak Şekil 2’de belirtilen malzemelerden NaOH 8 molar sulu çözelti haline getirilmiştir. Bu işlem karışımdan en az 24 saat önce yapılarak yüksek sıcaklığa ulaşan çözeltinin soğuması beklenmiştir.



Şekil 2. AALB'nin üretim ve test süreci

Daha sonra ince ve iri agregata mikserde yerleştirilerek homojen bir dağılım oluşturuluncaya kadar karıştırılmıştır. Agregaların hemen ardında İÖYFC karışıma eklenerek kuru olarak agregalar ile birlikte iyi bir dağılım elde edilinceye kadar tekrar karıştırılmıştır. Sonrasında NaOH ve Na₂SiO₃ karışıma yavaş yavaş ilave edilerek karıştırmaya devam edilmiştir. Şekil 2’de AALB’nin üretim süreci ve karışımda kullanılan malzeme ve oranları şematik olarak sunulmuştur. Hazırlanan taze AALB, aktivasyon için kalıplara vibrasyon yardımıyla yerleştirilmiştir. Farklı sıcaklık koşullarının kırılma özelliklerine etkisinin araştırılması amacıyla 20 saat süreyle üç farklı aktivasyon sıcaklığı (30 °C, 60 °C, 90 °C) uygulanmıştır. Sonrasında 90 gün oda sıcaklığında bekletilen numuneler üzerinde eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve kırılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kırılma deneyleri için 50x100x480 mm uzunluğunda hassas çentikli kiriş kalıplar kullanılarak üretilen kiriş örnekler kırılma testine tabi tutulmuştur. Çatlak kontrollü gerçekleştirilen deneylere ait test düzeneği şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Kırılma deneyi test düzeneği

İki noktalı kırılma modeli ile elde edilen değerler kullanılarak, Eşitlik 2 yardımıyla eğilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Yük ve çatlak kontrollü gerçekleştirilen kırılma testi sonucunda elde edilen Yük-CMOD eğrisi altında kalan alanlar hesaplanarak Eşitlik 1’de verilen formül ile kırılma enerjileri hesaplanmıştır.

$$(G_F) = \frac{W_0 + m \cdot g \cdot \delta_0}{A_{lig}} (N / mm) \quad (1)$$

Kırılma enerjilerinin hesaplanmasında kullanılan Eşitlik 1’de G_F : kırılma enerjisi (N/m), δ_0 maksimum deformasyon (m), mg mesnetler arasına yerleştirilen numunenin kendi ağırlığı (kg), W_0 Yük-CMOD grafiği altında kalan alan (N/m), ve A_{lig} : kırılma yüzey alanı (m^2); $A_{lig} = (D - a_0) \cdot b$, (m^2); $(D - a_0)$ Çentik hariç kiriş yüksekliği, b : kırılma bölgesindeki kiriş genişliği olarak ifade edilmektedir (Pirmohammad ve ark., 2021; Serin ve ark., 2021).

$$f_e = \frac{3PL}{2b(D - a_0)^2} (MPa) \quad (2)$$

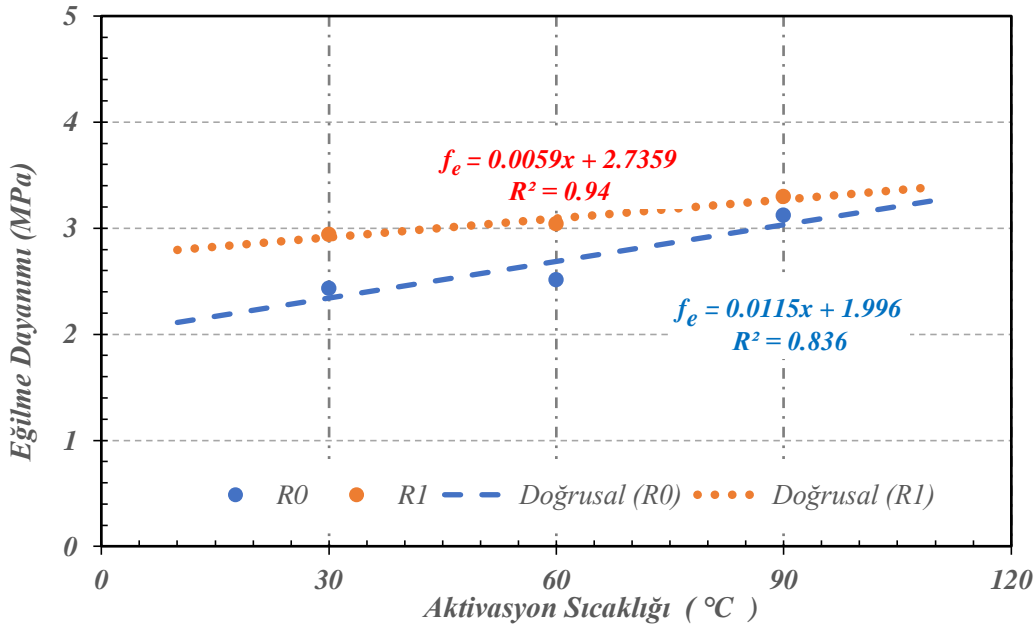
Eşitlik 2’de ifade edilen; eğilme dayanımı, L : mesnetler arasındaki mesafe, P : maksimum yük, D : kiriş yüksekliği, a_0 : çatlak boyu ve b numune genişliği olarak ifade edilmektedir (Yurt, 2015).

Bulgular

Eğilme ve Basınç Dayanımı

AALB’lerin aktivasyon sıcaklığına bağlı olarak eğilme dayanımı değerlerindeki değişim, referans ve

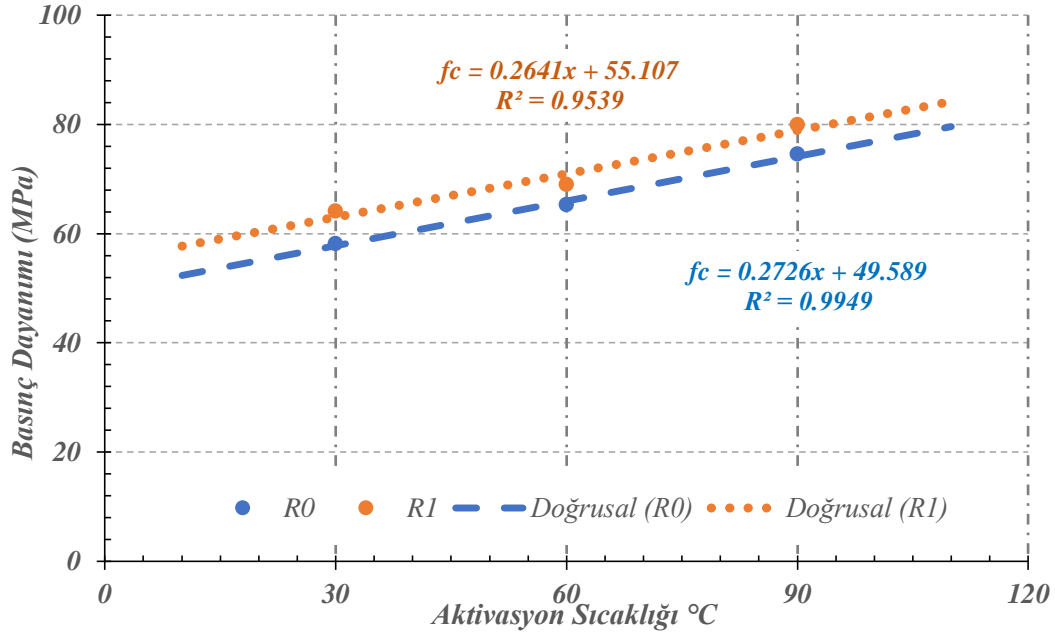
1kg/m³ lif oranına sahip örnekler Şekil 4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Aktivasyon sıcaklığındaki artış ile birlikte genel olarak lif içermeyen numunelerde ve ağırlıkça 1 kg/m³ lif içeren örneklerde artış olduğu görülmüştür. Genel olarak sıcaklık ve eğilme dayanımı arasındaki doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Lif içeren numunelerin lif içermeyen numunelere göre daha yüksek eğilme dayanımı değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum literatür ile paralellik göstermektedir (Bernal ve ark., 2010). Lifli numunelerde R² değeri 0,940 iken lif içermeyen numunelerde 0,836 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4. Eğilme dayanımı sonuçları

En düşük aktivasyon (30 °C) sıcaklığında dayanım kazanan numunelere göre 60 °C ve 90 °C aktivasyon sıcaklığı uygulanan R₀ ve R₁ lif oranına sahip örnekler kendi içerisinde değerlendirildiğinde (Şekil 4) sırasıyla %3,30; %28,35 ve %3,40; %12,08 oranında eğilme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. Benzer aktivasyon sıcaklığına maruz bırakılan eğilme numunelerinden lif içermeyen numuneler referans alınarak karşılaştırma yapıldığında sırasıyla 30 °C için: %20,99; 60 °C için: %21,12 ve 90 °C için: %5,64 oranında artış görülmüştür. Basınç dayanımı ve aktivasyon sıcaklığı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde basınç dayanımı ve aktivasyon sıcaklığı arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Aktivasyon sıcaklığının artışı ile dayanım gelişimi arasındaki ilişki literatür ile paralellik göstermektedir (Gómez-Casero ve ark., 2021). Lif içeren ve içermeyen örneklerin R² değerleri sırasıyla 0,954 ve 0,995 olarak elde edilmiştir. Aktivasyon sıcaklığının artışı ile basınç dayanım değerleri lineer olarak artmaktadır. En düşük aktivasyon (30 °C) sıcaklığında dayanım kazanan numunelere göre 60 °C ve 90 °C uygulanan R₀ ve R₁ lif oranına sahip örnekler kendi içerisinde değerlendirildiğinde sırasıyla %12,34;

%28,16 ve %7,65 ve %24,74 artış göstermiştir.

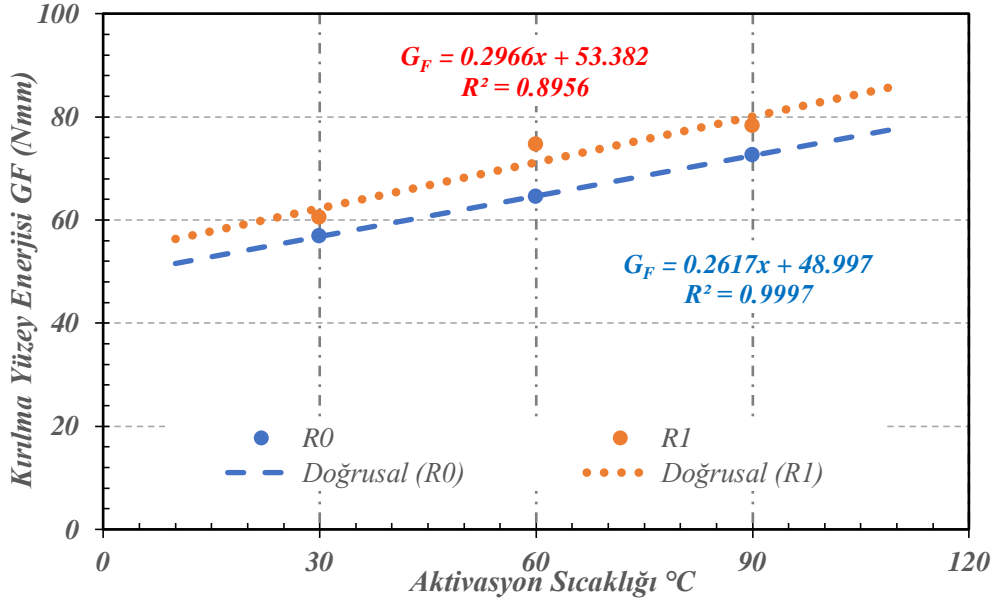


Şekli 5. Basınç dayanımı sonuçları

Aynı aktivasyon sıcaklığına maruz bırakılan örnekler lif içermeyen numuneler baz alınarak değerlendirildiğinde sırasıyla 30 °C için: %10,22; 60 °C için: %5,62 ve 90 °C için: %7,27 oranında artış görülmüştür.

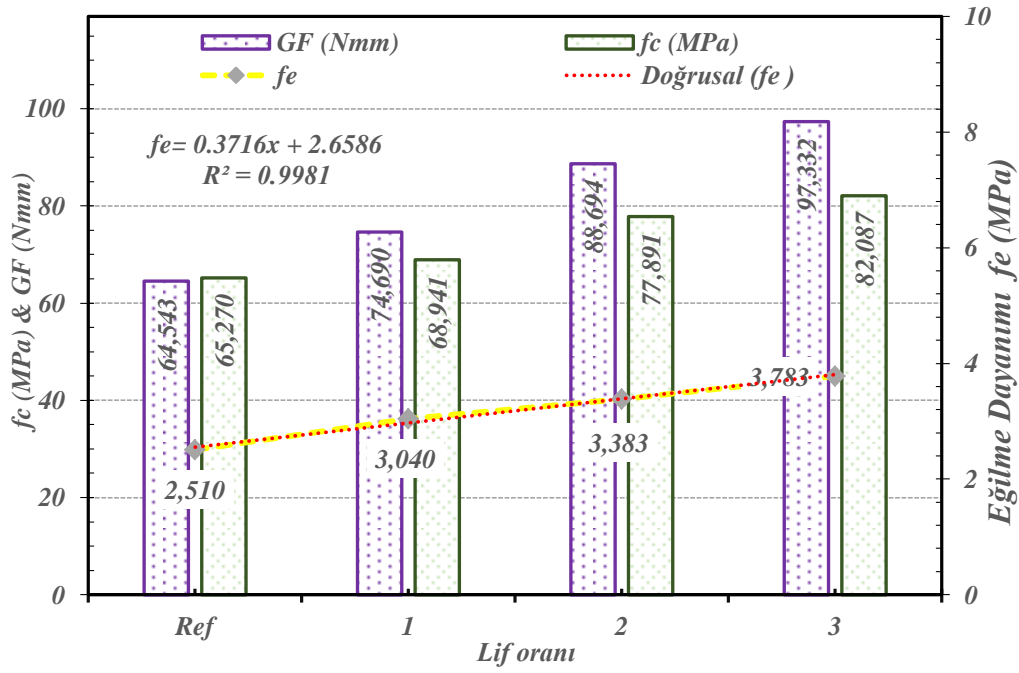
Kırılma Enerjisi

Kırılma yüzey enerji değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde genel olarak AALB'lerin kırılma yüzey enerjisi ve aktivasyon sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak tüm örneklerde (R₀ ve R₁) aktivasyon sıcaklığındaki artışla doğru orantılı olarak G_F değerleri artmaktadır. Farklı aktivasyon sıcaklığı uygulanan (R₀) ve ağırlıkça 1kg/m³ lif içeriğine (R₁) sahip örnekler aynı aktivasyon sıcaklığı içerisinde R₀ referans alınarak karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, sırasıyla 30 °C için: %6,32; 60 °C için: %15,72 ve 90 °C için: %5,69 oranında artış görülmüştür. Şekil 6'da regresyon analizi sonuçları incelendiğinde lif içeren örneklerin R² değerleri 0,896 iken lif içermeyen örneklerin R² değerleri 0,999 olarak gerçekleşmiştir. Bu duruma karışıma giren liflerin oluşturduğu boşluk ve kusurların yol açtığı düşünülmektedir. Lif oranının kırılma yüzey enerjisi, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı üzerindeki etkisi farklı lif oranları ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi amacıyla Şekil 7'deki grafik oluşturulmuştur. Bu kapsamda sabit aktivasyon sıcaklığında (60 °C) ağırlıkça 1kg/m³, 2kg/m³ ve 3kg/m³ lif oranlarına sahip örnekler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6. Kırılma yüzey enerjileri

Genel olarak lif oranının artması ile birlikte tüm örneklerin basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma yüzey enerjileri artış eğilimindedir. Eğilme dayanımı ve lif oranı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu Şekil 7'de görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda lif oranı ve eğilme dayanım arasında güçlü bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Yu ve ark., 2014). Lif oranı ve eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi veren eşitliğin R^2 değeri 0,9981 olarak elde edilmiştir. Referans numuneye göre basınç ve kırılma yüzey enerji değerleri lif oranındaki artışa göre değerlendirildiğinde sırasıyla, Basınç dayanımı değerleri %5,62; %19,34; %25,77 oranında kırılma yüzey enerji değerleri %15,72; %37,41; %50,80 oranında artış göstermiştir. Kırılma yüzey enerji değerlerindeki %50'lik artış lifler ve bağlayıcı matris arasında güçlü bir aderans olduğuna işaret etmektedir. En yüksek basınç dayanımı değeri 82,09 MPa olarak gerçekleşmiştir. Eğilme dayanımı değerleri referans numune baz alınarak değerlendirildiğinde Lif oranının artışına bağlı olarak sırasıyla %21,12; %34,66; %50,60 oranında artış gerçekleşmiştir. Beton yapısı itibarıyla bünyesinde çok fazla kılcal çatlak bulundurmaktadır. Bu çatlakların yük etkisi altındaki davranışının belirlenmesi taşıyıcı sistem tasarımı için oldukça önemlidir. Geleneksel yaklaşımlarla bu çatlakların taşıyıcı sistem davranışına etkisini saptamak tam olarak mümkün olmamaktadır. Malzeme özelliklerinin kırılma yaklaşımları ile belirlenmesi, geleneksel yaklaşımlara göre nispeten daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışma kapsamında çatlak kontrollü yükleme yapılmıştır. Bu sayede sadece dayanım değerine göre değil, aynı zamanda tüketilen enerji değerlerine göre karşılaştırma yapma imkânı sağlanmıştır.

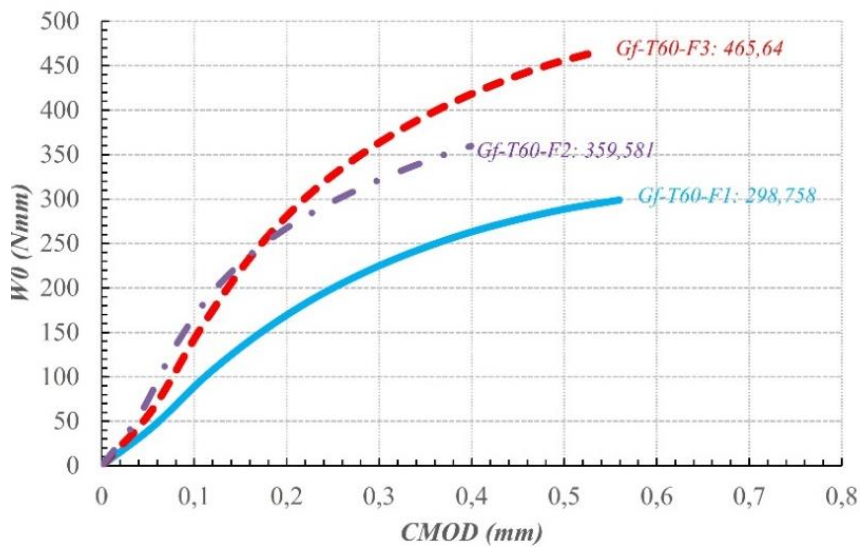
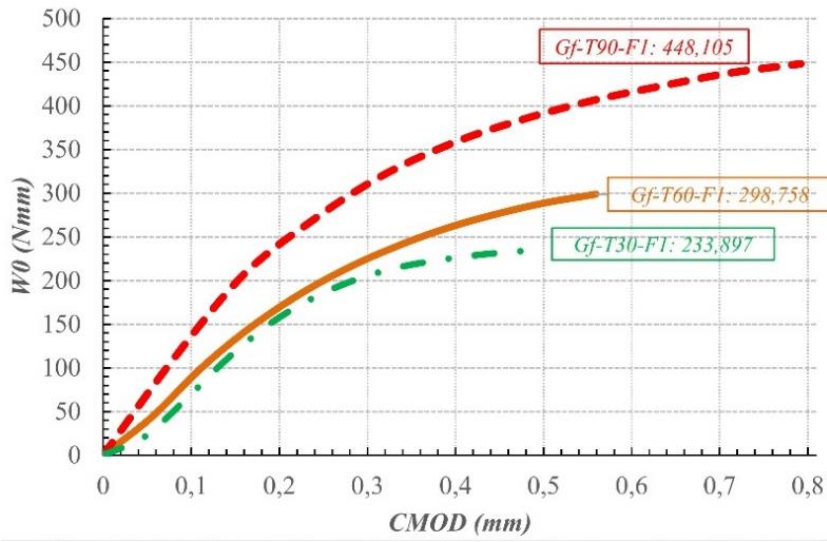
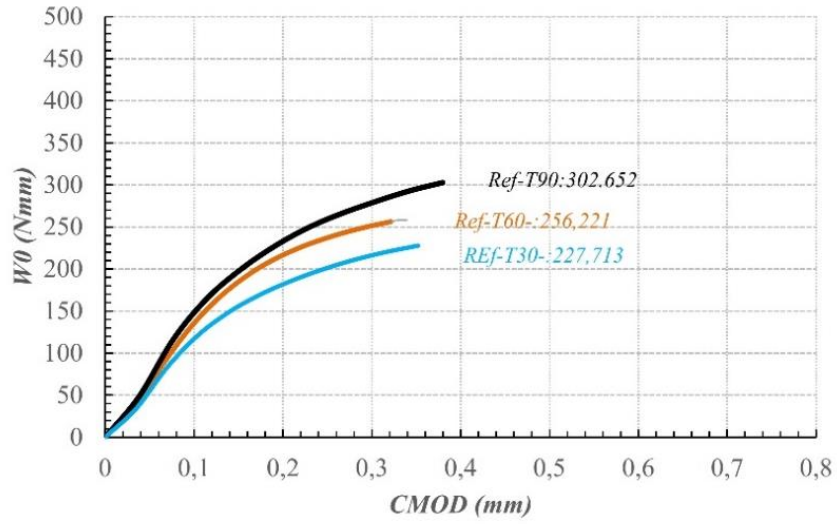


Şekli 7. G_F , f_c ve f_e karşılaştırmalı sonuçları

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, çatlak ilerleyişine bağlı olarak Yük-CMOD grafiği altında kalan alanlar hesaplanarak teste tabi tutulan çentikli kiriş örneklerin enerji tüketme değerleri elde edilmiştir. Bu değerler yardımıyla çatlak açılımına bağlı enerji tüketme grafikleri çizilmiştir. Çatlak açılımına bağlı olarak elde edilen enerji tüketme grafikler Şekil 8’de görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde (Şekil 8) lif içermeyen referans numunelerin enerji tüketme değerlerinin 227,713 Nmm ve 302,652 Nmm aralığında değiştiği görülmektedir. Kür sıcaklığının artışı ile enerji tüketme değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. En düşük aktivasyon sıcaklığına tabi tutulan Ref-T30 kodlu numune referans alındığında Ref-T60 ve Ref-T90 sarasıyla %12,52 ve %32,91 oranında artış göstermiştir. Aktivasyon sıcaklığındaki artışın enerji tüketme değerleri üzerinde olumlu katkı sağladığı bu grafiklerden görülebilir.

Sabit lif oranına (R_1) sahip örnekler aktivasyon sıcaklığındaki değişime bağlı olarak değerlendirildiğinde sırasıyla 30 °C, 60 °C ve 90 °C aktivasyon sıcaklığı için sırasıyla 233,897 Nmm; 298,758 Nmm ve 448,105 Nmm, değerler elde edilmiştir.



Şekil 8. Sönümlenen enerji değerleri

En düşük aktivasyon sıcaklığı referans alınarak değerlendirildiğinde sabit lif oranına sahip örneklerde kür sıcaklığının artışı ile sırasıyla %27,73 ve %91,60 artış gerçekleşmiştir. Sabit aktivasyon sıcaklığına maruz bırakılan ve farklı lif içeriğine sahip örnekler Ref-T60 kodlu numune (256,22 Nmm) referans alınarak değerlendirildiğinde, lif oranının artışına bağlı olarak sönmelenen enerji oranları sırasıyla %16,60; %40,34 ve %81,73 olarak gerçekleşmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen kırılma enerjisi değerlerinin aktivasyon sıcaklığı ile ilişkili olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca lif oranının artışı ile geleneksel betona benzer şekilde sönmelenen enerji değerlerinin arttığı görülmüştür. Alkali aktivasyonlu kompozitlerin tasarımında, aktivasyon sıcaklığının sönmelenen enerji değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Sonuçlar

Sürdürülebilir çevre dostu alkali aktivasyonlu lifli beton (AALB) karışım tasarımları üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, enerji tüketme değerleri ve kırılma yüzey enerjileri belirlenmiştir. Farklı aktivasyon sıcaklığının dayanım, enerji tüketme ve kırılma özellikleri üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca farklı lif oranlarının yukarıda belirtilen özellikler üzerindeki etkisi de bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Yüksek dayanımlı alkali aktivasyonlu çevre dostu sürdürülebilir beton üretimi gerçekleştirilmiştir.
- Aktivasyon sıcaklığının artışına paralel olarak dayanım ve kırılma enerji değerlerinde artış görülmüştür.
- Lif oranının artışına bağlı AALB'lerin kırılma yüzey enerji değerlerinde %50,80 oranında artış görülmüştür.
- Aktivasyon sıcaklığı ve lif oranının değişiminin kırılma enerji değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.
- Malzemelerin enerji sönmeme oranları lif oranının artışına paralel olarak artmıştır. Benzer lif oranına sahip numuneler aktivasyon sıcaklığının artışına bağlı olarak değerlendirildiğinde %91,58 oranında artış görülmüştür.
- Sabit aktivasyon sıcaklığında lif oranının artışına bağlı olarak sönmelenen enerji değerlerinde %55,86 oranında artış gerçekleşmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacının Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- Arslan ME. Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement. *Construction and Building Materials* 2016; 114: 383-391.
- Aydın S., Baradan B. The effect of fiber properties on high performance alkali-activated slag/silica fume mortars. *Composites Part B: Engineering* 2013; 45(1): 63-69.
- Bernal S., Gutierrez R De., Delvasto S., Rodriguez E. Performance of an alkali-activated slag concrete reinforced with steel fibers. *Construction and Building Materials* 2010; 24(2): 208-214.
- Bideci A., Öztürk H., Bideci ÖS., Emiroğlu M. Fracture energy and mechanical characteristics of self-compacting concretes including waste bladder tyre. *Construction and Building Materials* 2017; 149: 669-678.
- Çelikten S., Atabey İİ. Su içeriği ve ısı kür süresinin atık bazalt tozu esaslı geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2021; 10(1): 328-332.
- Davidovits JJ. Geopolymers: Ceramic-like inorganic polymers. *Journal of Ceramic Science and Technology* 2017; 8(3): 335-350.
- Ding Y., Dai JG., Shi CJ. Mechanical properties of alkali-activated concrete: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials* 2016; 127: 68-79.
- Gómez-Casero MA., Pérez-Villarejo L., Castro E., Eliche-Quesada D. Effect of steel slag and curing temperature on the improvement in technological properties of biomass bottom ash based alkali activated materials. *Construction and Building Materials* 2021; 302: 124205.
- Huang L., Liu JC., Cai R., Ye H. Mechanical degradation of ultra-high strength alkali-activated concrete subjected to repeated loading and elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites* 2021; 121:104083.
- Liu Y., Shi C., Zhang Z., Li N., Shi D. Mechanical and fracture properties of ultra-high performance geopolymer concrete: Effects of steel fiber and silica fume. *Cement and Concrete Composites* 2020; 112: 103665.
- Oğuz M., Emiroğlu M. Elazığ ferrokrom cürufunun alkali aktive edilmiş harç üretiminde kullanım potansiyelinin araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2016; 28(1): 23-34.
- Masi G., Filipponi A., Bignozzi MC. Fly ash-based one-part alkali activated mortars cured at room temperature: Effect of precursor pre-treatments. *Open Ceramics* 2021; 8: 100178.
- Kaya M. Yüksek ve düşük kalsiyum içeren uçucu küller ile üretilen geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin İncelenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 2020; 9(2): 96-104.
- Meyer C. The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites* 2009; 31(8): 601-605.

- Pasupathy K., Berndt M., Castel A., Sanjayan J., Pathmanathan R. Carbonation of a blended slag-fly ash geopolymer concrete in field conditions after 8 years. *Construction and Building Materials* 2016; 125: 661-669.
- Pirmohammad S., Abdi M., Ayatollahi MR. Effect of support type on the fracture toughness and energy of asphalt concrete at different temperature conditions. *Engineering Fracture Mechanics* 2021; 254: 107921.
- Serin S., Emiroğlu M., Gönül VE. Investigation of the fracture energy of hot mixtures asphalt incorporating metallic wastes via semi-circular bending test. *Construction and Building Materials* 2021; 300: 124006.
- Shah SP., Swartz SE., Ouyang C. Fracture mechanics of concrete: applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi-brittle materials. NY: John Wiley & Sons; 1995.
- Thomas RJ., Peethamparan S. Alkali-activated concrete: Engineering properties and stress-strain behavior. *Construction and Building Materials* 2015; 93: 49-56.
- Turner LK., Collins FG. Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials* 2013; 43: 125-130.
- Tuyan M., Boyacı OC., Çakır ÖA., Ramyar K. Uçucu kül esaslı geopolimer betonların mekanik özellik ve yüksek sıcaklık dirençlerinin araştırılması. *Hazır Beton Dergisi* 2020; 161: 71-76.
- Yu R., Spiesz P., Brouwers HJH. Mix design and properties assessment of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPRC). *Cement and Concrete Research* 2014; 56: 29-39.
- Yurt Ü. Kriyojenik sıcaklık etkisindeki kendiliğinden yerleşen betonlarda kırılma mekaniği performansının belirlenmesi. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:44, Düzce, Türkiye, 2015.
- Yurt Ü. An experimental study on fracture energy of alkali activated slag composites incorporated different fibers. *Journal of Building Engineering* 2020a; 32: 101519.
- Yurt Ü. High performance cementless composites from alkali activated GGBFS. *Construction and Building Materials* 2020b; 264: 120222.
- Yurt Ü., Dündar B., Çınar E. Jeopolimer betonlarda sülfürik asit etkisinin araştırılması. *Düzce University Journal of Science and Technology* 2020; 8(2): 1548-1561.
- Yurt Ü., Emiroğlu M. Zeolit ikameli geopolimer betonlarda kür şartlarının etkileri. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science* 2020; 8(2): 396-402.
- Zhang B., He P., Poon CS. Improving the high temperature mechanical properties of alkali activated cement (AAC) mortars using recycled glass as aggregates. *Cement and Concrete Composites* 2020; 112: 103654.

ASCE 41-17'ye Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Performans Analizlerinin Elde Edilmesi ve Karşılaştırması

Rohullah JAMAL^{1,2*}, S. Bahadır YÜKSEL³

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya

²Theoretical and Applied Mechanics department, Electromechanics Faculty, Kabul Polytechnic University, Kabul, Afghanistan

³Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0001-5987-8502>

³<https://orcid.org/0000-0002-4175-1156>

*Sorumlu yazar: jamal.rohullah@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi:23.01.2021

Kabul tarihi:23.08.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

İtme analizi

Plastik mafsalsal

Kapasite eğrisi

Tepe yer değiştirme

Taban kesme kuvveti

ÖZ

Doğrusal olmayan statik prosedür (NSP) veya itme analizi basitliği nedeniyle, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performanslarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Modelleme sırasında yapıdaki her bir elemanın doğrusal olmayan özelliklerinin ve deformasyon kapasitelerinin belirlenmesi gerekmektedir. İtme analizi, ASCE 41-17 yönetmeliğine göre tanımlanan plastik mafsalsal özellikleri ele alınarak gerçekleştirilmiştir. Programlara tanımlanan plastik mafsalsal özelliklerinin sınır değerleri verilirken programlar sınır değerlerinin içerisindeki değerleri otomatik olarak hesaplamaktadır. Varsayılan mafsalsal özelliklerinin yanlış kullanılması, mevcut yapılar için hatalı yer değiştirme kapasitelerine yol açabilmektedir. Bu çalışmada, ASCE 41-17'de tanımlanan doğrusal olmayan elemanların plastik mafsalsal özellikleri ele alınarak itme analizi yapılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin analiz sonuçları incelenerek birbiri ile karşılaştırılmıştır. Plastik mafsalsal özelliklerinde en etkili parametreler plastik mafsalsal uzunluğu ve enine donatı aralığıdır. Bu çalışmada artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle 3 açıklıklı 1, 2 ve 3 katlı betonarme yapıların analizleri yapılmıştır. Yapı sistemleri üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda kapasite eğrileri elde edilmiştir. ASCE 41-17'ye göre hesaplanan tepe yer değiştirme miktarı ve taban kesme kuvveti, kat sayısı arttıkça zaman artmaktadır. ASCE 41-17 yönetmeliğine göre yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar kat yüksekliğine, yapıya etkiyen düşey yük miktarına ve efektif rijitliğine bağlıdır.

Obtaining and Comparison of Nonlinear Calculation Methods and Performance Analysis of Reinforced Concrete Structural Systems According to ASCE 41-17

Research Article

Article History:

Received: 23.01.2021

Accepted: 23.08.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Pushover analysis

Plastic hinge

Capacity curves

Peak displacement

Base shear force

ABSTRACT

Due to its simplicity, the structural engineering profession has been using the nonlinear static procedure (NSP) or pushover analysis. While modeling, the determination of the nonlinear properties and deformation capacities of each component in the structure should be determined. Pushover analysis was performed by considering the nonlinear hinge properties defined according to ASCE 41-17. While the limit values of the defined plastic hinge properties are given to the programs, the programs automatically calculate the values within the limit values. The user needs to be careful; the misuse of default-hinge properties may lead to unreasonable displacement capacities for existing structures. In this study, pushover analysis has been carried out by considering the plastic hinge properties of the nonlinear elements defined in ASCE 41-17. The analysis results of reinforced concrete building systems were examined and compared with each other. The most effective parameters in plastic hinge

properties are plastic hinge length and transverse reinforcement spacing. In this study, 3-span, 1, 2 and 3-storeys reinforced concrete structures were analyzed using the incremental equivalent earthquake load method. Capacity curves have been obtained as a result of the analysis performed on the building systems. The peak displacement and base shear strength calculated according to ASCE 41-17 increase when the number of floors increased. The results calculated according to ASCE 41-17 depend on the number of floors, the amount of vertical load acting on the structure and effective stiffness in the analysis.

To Cite: Jamal R., Yüksel B. ASCE 41-17'ye Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Taşıyıcı Sistemlerinin Performans Analizinin Elde Edilmesi ve Karşılaştırması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):189-204.

Giriş

Sismik yer değiştirme tahminleri, doğrusal veya doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak elde edilebilir. Binaların sismik tasarımı için doğrusal elastik analiz kullanılırken, elastik olmayan davranış, sık olmayan deprem yüklemelerine maruz kalan çoğu yapıda amaçlanmaktadır. Bu nedenle, sismik yükler altında binaların gerçek davranışını anlayabilmek için doğrusal olmayan analizlerin kullanılması önerilmektedir (Priestley ve ark., 1993).

Doğrusal olmayan analiz, mevcut ve yeni yapıların sismik performans değerlendirmesi için daha popüler bir araç haline gelmiştir. Doğrusal olmayan zaman alanı analizinin, sismik talep tahminleri ve yapıların performans değerlendirmesi için en doğru yöntem olduğu iyi bilinmesine rağmen, doğrusal olmayan statik analiz, basitliği nedeniyle yapı mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

İtme ve doğrusal olmayan zaman alanı analizlerinin kendi sınırlamaları, zorlukları veya belirsizlikleri vardır (Krawinkler, 1996; Mwafy ve ark., 2001). İtme analizinin, elastik analiz ile elde edilemeyen mukavemet ve yer değiştirme talepleri hakkında yapısal yönler ve faydalı bilgiler hakkında bir kavrayış sağladığı yaygın olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, daha yüksek mod etkileri veya burulma düzensizlikleri olan yapılar için doğru sonuçlar vermemektedir (Krawinkler ve ark., 1998; Papanikolaou ve ark., 2006).

Elastik olmayan davranış, seyrek deprem yüklemesine maruz kalan çoğu yapılarda amaçlandığından, sismik etkiler altındaki yapıların davranışını belirleyebilmek için doğrusal olmayan analizlerin kullanılması gereklidir. Basitliği nedeniyle, yapı mühendisliğinde, FEMA-356 (FEMA-356., 2000), ATC-40 (ATC-40., 1996) ve ASCE 41-17 (ASCE 41-17., 2017)'de açıklanan doğrusal olmayan statik prosedür (NSP) veya itme analizi kullanılmaktadır. İtme analizi doğru bir şekilde yapıldığı zaman, doğrusal statik veya dinamik analiz prosedürleri ile elde edilemeyen faydalı bilgileri sağladığı yaygın olarak kabul edilmektedir.

İtme analizinin uygulanmasında matematik modellemesi önemli adımlardan biridir. Modellemede, yapının / elemanların doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmalıdır. Böyle bir model ile, yapıdaki her bir bileşenin mukavemet ve deformasyon kapasiteleri ile ölçülen doğrusal olmayan özelliklerinin belirlenmesini gerektirir. Bir bileşenin nihai deformasyon kapasitesi, nihai eğriliğe ve plastik mafsallık uzunluğuna bağlıdır.

Doğrusal olmayan analiz, mevcut ve yeni yapıların sismik performans değerlendirmesi için daha popüler bir araç haline gelmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinin, sismik talep tahminleri ve yapıların performans değerlendirmesi için en doğru yöntem olduğu bilinmesine rağmen, doğrusal olmayan statik analiz, kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

ASCE 41-17'de açıklanan doğrusal olmayan statik analiz (NSP) veya itme analizi basitliği nedeniyle yapı sistemlerini analiz etmek için kullanılmaktadır. İtme analizinin uygulanmasında önemli adımlardan biri yapı sistemlerinin modellenmesidir. Modelleme sırasında, yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmalıdır.

Modellerde, yapı elemanlarının mukavemet ve deformasyon kapasiteleri ile doğrusal olmayan özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Deformasyon kapasitesini belirlemek için modellerde ideal konsol modeli yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir elemanın nihai deformasyon kapasitesi, nihai eğriliğe ve plastik mafsallık uzunluğuna bağlıdır. Farklı plastik mafsallık uzunluğu ve farklı eğrilik değerlerinin kullanılması, farklı deformasyon kapasitelerine neden olabilir. Yönetmeliklerde farklı plastik mafsallık uzunluğu ve farklı hasar sınırlarının dönme açıları detaylı bir şekilde verilmiştir (ASCE 41-17, 2017).

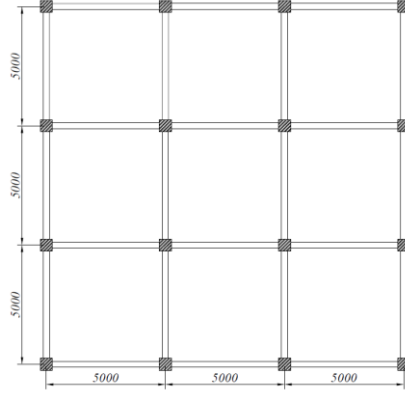
Bu çalışmada, doğrusal olmayan elemanların plastik mafsallık özellikleri kullanılarak itme analizinin sonuçlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. 1, 2 ve 3 katta sahip 3 açıklıklı binalar ele alınarak elde edilen sonuçlar karşılaştırarak yorumlanmıştır. Ele alınan binaların iki eksenli simetrik olduğu için burulma düzensizliği bulunmamaktadır. Binalar üç boyutlu olarak SAP2000 (SAP 2000 V20.2) programı ile modellenerek itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapı sisteminin bilgi düzeyi, malzeme dayanımları ve elemanların plastik mafsallık özellikleri belirlenmiştir. Elemanların plastik mafsallık özellikleri ve malzeme dayanımları ele alınarak matematiksel modelleme yapılmıştır. Matematiksel modelin analiz sonucunda ASCE 41-17'ye göre kapasite eğrileri hesaplanarak çizilmiştir. Kapasite ve ideal kapasite eğrileri aynı grafikte çizilerek yapı sisteminin performans noktası belirlenmiştir. Farklı tip taşıyıcı sistemlerin kapasite eğrileri ve elde edilen performans noktaları karşılaştırarak yorumlanmıştır.

Materyal ve Metot

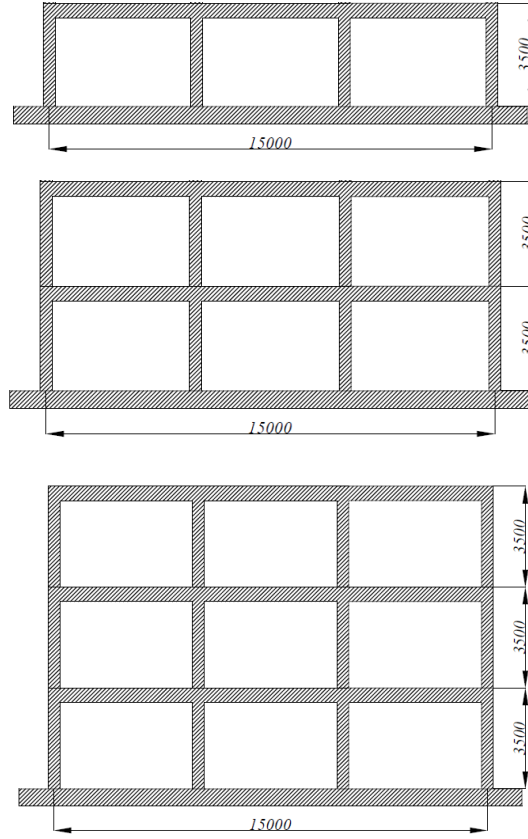
Çalışmada 3 farklı tip mevcut betonarme taşıyıcı sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan taşıyıcı sistemlerin genel özellikleri Tablo 1'de, kolonların ve kirişlerin konumlarının daha iyi anlaşılması için tipik kat planı ise Şekil 1'de verilmiştir. Bina taşıyıcı sistemi (BTS) BTS-1, BTS-2 ve BTS-3 olan betonarme binaların düşey kesitleri Şekil 2'de verilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerde her iki yönde x ve y eksen aralıklarının mesafesi 5m ve kat yüksekliği 3,5m olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Tablo 1. Betonarme yapı sistemlerinin genel özellikleri

Bina Tipi	Kat Sayısı	Taşıyıcı Sistem Tipi
BTS-1	1	Çerçevesiz Sistem
BTS-2	2	Çerçevesiz Sistem
BTS-3	3	Çerçevesiz Sistem



Şekil 1. Betonarme taşıyıcı sistemlerin tipik kat planı [ölçüler mm'dir]



Şekil 2. Betonarme taşıyıcı sistemlerin düşey kesitleri [ölçüler mm'dir]

Malzeme tanımlanması

Betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımında C30 beton ve B420C donatı sınıfı kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri TS 500'e göre hesaplanmıştır. Hesaplanan beton ve donatı çeliğinin özellikleri sırasıyla Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan beton ve donatı çeliğın mekanik özellikleri

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck} (Mpa)	Eşdeğer Küp (150mm) Basınç Dayanımı (Mpa)	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı f_{ctk} (Mpa)	28 Günlük Elastik Modülü, E_c (Mpa)	
C30	30	37	1,9	32000	
Donatı Sınıfı	Minimum Akma Dayanımı, f_{yk} (Mpa)	Minimum Kopma Dayanımı, f_{su} (Mpa)	$\phi \leq 32$ için Minimum Kopma Uzaması, ϵ_{su} (%)	$32 < \phi \leq 50$ için Minimum Kopma Uzaması, ϵ_{su} (%)	Elastik Modülü, E_s (Mpa)
B420C	420	550	8	8	200000

Yapı İstanbul Atatürk havalimanı bölgesinde bulunmaktadır. Hesaplamalarda ASCE 41-17 ve ACI 318-14'e göre tasarlanan betonarme taşıyıcı sistem modellerinde deprem ve zemin parametreleri AFAD web sayfasından (<https://tdth.afad.gov.tr>) parametreleri alınarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Hesaplarda kullanılan deprem ve zemin parametreleri

Bina Önem Katsayısı	I=1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS=3
Eksantriste Oranı	0,05
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS=1
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS=7
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_a= 0,06$; $T_b= 0,32$
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	$S_s = 1,294$
1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	$S_1 = 0,329$
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	$SD_s = 1,5528$
1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	$SD_1 = 0,4935$

Çalışmada tüm yapı sistemleri için, normal kat döşemelerine etkiyen kaplama yükü $2,12 \text{ kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen kaplama yükü $2,5 \text{ kN/m}^2$ ve kirişlere etkiyen duvar yükü de $4,8 \text{ kN/m}$ alınmıştır. Normal kat döşemelerine etkiyen hareketli yük $3,5 \text{ kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen hareketli yük ise $1,5 \text{ kN/m}^2$ ve hesaplanan kar yükü ise $1,05 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır.

Betonarme kiriş ve kolonların boyutlandırma ve donatılması

Çalışmada kolonlar $400 \times 400 \text{ mm}$, kirişler $250 \times 500 \text{ mm}$ boyutlarında ve döşemeler 160 mm kalınlığında seçilmiştir. Kolonlar ve kirişlerde pas payı 50 mm , döşemelerde 20 mm olarak seçilmiştir. Yapı sistemlerinin tasarımı TBDY 2018 ve TS 500'e göre ideCAD Statik (ideCAD Statik., 2018) programı ile yapılmıştır. Tasarlanan kolonların ve kirişlerin en-kesit özellikleri sırasıyla Tablo 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Kolon ve kirişlerin donatı yerleşim planı sırasıyla Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Betonarme kolonların en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı

Bina Tipi	Kolon	Boyut (mm)	Düşey Donatı	Enine Donatı	Boyuna Donatı Oranı
BTS-1, 2 ve 3	Yapılardaki Tüm Kolonlar (C)	400x400	8Φ16	Φ8/80	0,01005

Tablo 5. BTS-1 bina tipi betonarme kirişlerin en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı

BTS-1 Tipi Bina Kirişleri (250x500mm)					
Kiriş	Katlar		Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet
BZ	Z. Kat	Üst	3Φ16	3Φ16	3Φ16
		Alt	2Φ16	2Φ16	2Φ16

Not: Tüm kat kirişlerinde Φ8/200/90 etriye kullanılmıştır.

Tablo 6. BTS-2 bina tipi betonarme kirişlerin en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı

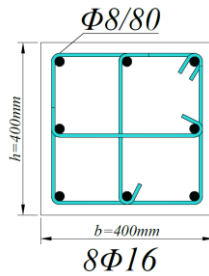
BTS-2 Tipi Bina Kirişleri (250x500mm)					
Kiriş	Katlar		Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet
BZ	Z. Kat	Üst	4Φ16	4Φ16	4Φ16
		Alt	3Φ16	3Φ16	3Φ16
B1	1. Kat	Üst	3Φ16	3Φ16	3Φ16
		Alt	2Φ16	2Φ16	2Φ16

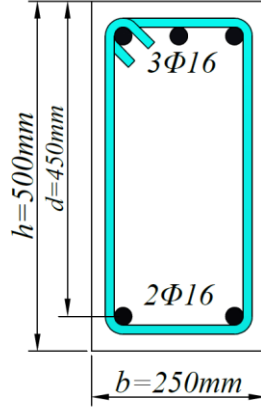
Not: Tüm kat kirişlerinde Φ8/200/90 etriye kullanılmıştır.

Tablo 7. BTS-3 bina tipi betonarme kirişlerin en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı

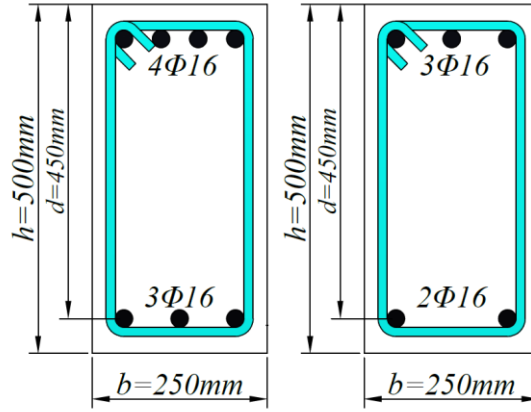
BTS-3 Tipi Bina Kirişleri (250x500mm)					
Kiriş	Katlar		Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet
BZ	Zemin Kat	Üst	5Φ16	5Φ16	5Φ16
		Alt	3Φ16	3Φ16	3Φ16
B1	1. Kat	Üst	4Φ16	4Φ16	4Φ16
		Alt	3Φ16	3Φ16	3Φ16
B2	2. Kat	Üst	3Φ16	3Φ16	3Φ16
		Alt	2Φ16	2Φ16	2Φ16

Not: Tüm kat kirişlerinde Φ8/200/90 etriye kullanılmıştır.

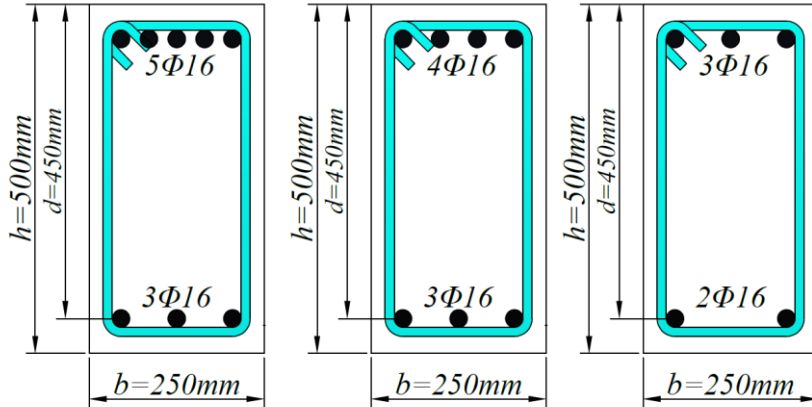
**Şekil 3.** Betonarme taşıyıcı sistemlerinin kolonların en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı



a. BTS-1 betonarme taşıyıcı sistemi kirişlerinin en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı



b. BTS-2 betonarme taşıyıcı sistemi kirişlerinin en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı



c. BTS-3 betonarme taşıyıcı sistemi kirişlerinin en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı

Şekil 4. Betonarme kirişlerin en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı

Betonarme taşıyıcı sistemlerin matematik modelinin tanımlanmasında tüm yapı sistemleri için kolonların temele ankastre olarak bağlandığı ve döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit olduğu varsayılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemleri düzenli ve simetrik olduğu için kütleler kat ağırlık merkezlerinde toplanarak yatay etkiler ek dış merkezlik olmaksızın dikkate alınmıştır.

Betonarme kiriş ve kolonların etkin rijitlik çarpanlarının belirlenmesi

Doğrusal olmayan statik analizlerin yapılabilmesi için kolonlar ve kirişler için ASCE 41-17’de verilen etkin eğilme rijitlik çarpanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Eğilme etkisi altındaki betonarme elemanların eğilme rijitlikleri çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerine dönüştürülmüş olur. ASCE 41-17’de kirişlerin ve kolonların etkin rijitlik çarpanlarını elde etmek için iki eksenel yük sınırı Tablo 8’de verilmiştir. ASCE 41-17’de düşey yük hesabında $W=G+nQ+S$ alınmaktadır. Denklemden; G zati yükün, Q hareketli yüklerin ve S etkilenen kar yükünün miktarıdır.

Tablo 8. Kolonlar ve kirişlerin etkin eğilme rijitlikleri çarpanları

Betonarme taşıyıcı sistem elemanı	ASCE 41-17’e göre	
	Etkin kesit rijitliği çarpanı (k_e)	
Çubuk elemanlarda	Eğilme	Kesme
Öngerilmemiş kirişler	0,3	0,4
Kolonlar için $N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0,5$	0,7	0,4
Kolonlar için $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0,1$	0,3	0,4

Tablo 8’de N_D ve k_e sırasıyla kolonların tasarım eksenel yükü ve çatlamış kesitin etkin rijitlik çarpanıdır. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait (EI)_o eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği (EI)_e kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılır.

Eğer kolonlara uygulanan eksenel yük miktarı (N_D) iki sınır değerlerin arasında ise, etkin eğilme rijitliği çarpanı doğrusal enterpolasyon ile elde edilmektedir. Tablo 8’e göre kolonlarda hesaplanan eksenel yük miktarı $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0,1$ olduğu durumlarda kolonların etkin eğilme rijitlikleri çarpanı 0,3 alınmıştır.

Betonarme kirişlerin etkin rijitlik çarpanları ASCE 41-17’ye göre 0,30 olarak sabit verilmiştir. Betonarme kolonların etkin eğilme rijitliklerinin çarpanları ASCE 41-17’ye göre Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Betonarme kolonların etkin eğilme rijitliklerinin çarpanları

Kolonlar	BTS-1		BTS-2		BTS-3	
	$N_d / A_c f_{cm}$	k_e	$N_d / A_c f_{cm}$	k_e	$N_d / A_c f_{cm}$	k_e
Z. Kat	0,041	0,30	0,097	0,30	0,164	0,36
1. Kat			0,041	0,30	0,097	0,30
2. Kat					0,041	0,30

Betonarme kolon ve kirişlerde Tablo 8 ve 9’de verilen etkin eğilme rijitliklerinin çarpanları yapı hesap modellerine uygulanmış ve modal analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen modal analiz sonucunda yapı sistemlerinin birinci titreşim modlarına ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranları Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Betonarme taşıyıcı sistemlerin x doğrultusundaki birinci titreşim modlarına ait etkin kütle oranları ve periyotları

Bina Tipi	Mod No	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları		
			UX	UY	RZ
BTS-1	1	0,30596	0,91840	0	0
BTS-2	1	0,56469	0,85443	0	0
BTS-3	1	0,81578	0,80197	0	0

Betonarme taşıyıcı sistemleri rijitlik ve kütle bakımından planda simetrik olduğu için, x ve y doğrultularındaki hâkim modların özellikleri aynıdır. Bu nedenle sadece x doğrultusunda tek yönde artımsal itme analizi yapılmıştır. Binanın hâkim mod şekillerine ve kat ağırlıklarına bağlı olarak doğrusal olmayan statik analizde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımları Tablo 11, 12 ve 13'te verilmiştir.

Tablo 11. BTS-1 Betonarme taşıyıcı sistemi için eşdeğer deprem yükü dağılımı

Kat	Kat Ağırlığı (kN)	X Doğrultusunda Hâkim Mod Şekli Genlikleri (m)	Ağırlık x Genlik	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı
Z	1920,9	0,0706	135,6	1,0000

Tablo 12. BTS-2 Betonarme taşıyıcı sistemi için eşdeğer deprem yükü dağılımı

Kat	Kat Ağırlığı (kN)	X Doğrultusunda Hâkim Mod Şekli Genlikleri (m)	Ağırlık x Genlik	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı
Z	2748,9	0,0336	92,4	0,8436
1	1920,9	0,0570	109,5	1,0000

Tablo 13. BTS-3 Betonarme taşıyıcı sistemi için eşdeğer deprem yükü dağılımı

Kat	Kat Ağırlığı (kN)	X Doğrultusunda Hâkim Mod Şekli Genlikleri (m)	Ağırlık x Genlik	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı
Z	2748,9	0,0178	48,9	0,5318
1	2748,9	0,0379	104,2	1,1323
2	1920,9	0,0479	92,0	1,0000

Kolonların ve kirişlerin ASCE 41-17'ye göre plastik mafsallık özelliklerinin belirlenmesi

Doğrusal olmayan statik analizde, tasarlanan 3 açıklıklı 1, 2 ve 3 katlı betonarme çerçeveli taşıyıcı sistemlerin kolonların ve kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kolonların ve kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin hesaplanmasında SAP2000 programından yararlanarak plastik mafsallık özellikleri hesaplanmıştır. Analizlerde SAP2000 programında kullanılan beton için sargılı ve sargısız beton malzeme modelleri ve donatı çeliği malzeme modeli

tanımlanmıştır. Beton malzeme modeli için Mander sargılı ve sargısız beton modeli, donatı çeliği malzeme modeli için ise Park modeli kullanılmıştır.

Betonarme kirişlerin ve kolonların plastik mafsalsız özellikleri ASCE 41-17'de Tablo 14 ve 15'te verilmiştir. Plastik mafsalsız özellikleri Tablo 14 ve 15'e göre hesaplanarak SAP 2000 programına tanımlanmıştır.

Tablo 14. Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kolonlar (ASCE 41-17, 2017)

Modelleme değişkenleri	Kabul edilmiş kriterler		
	Plastik dönme açısı (Rad)		
	Performans seviyesi		
Plastik Dönme Açıları, a ve b (Rad). Artık dayanım oranı, c	IO	LS	CP
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilmeyen kolonlar ^a			
$a = \left(0,042 - 0,043 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} + 0,63 \rho_t - 0,023 \frac{V_{YE}}{V_{COIOE}} \right) \geq 0,0$ $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \leq 0,5 \text{ için } b = \frac{0,5}{5 + \frac{N_{UD}}{0,8 A_g f'_{CE}} \rho_t f_{yIE}} - 0,01 \geq a^a$ $c = 0,24 - 0,4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \geq 0,0$	0,15a ≤ 0,005	0,5bb	0,7bb
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar ^c			
$a = \left(\frac{1}{8} \frac{\rho_t \cdot f_{yIE}}{\rho_t \cdot f_{yIE}} \right) \geq 0,0$ $\left(\frac{1}{8} \frac{\rho_t \cdot f_{yIE}}{\rho_t \cdot f_{yIE}} \right) \leq 0,025^d$ $b = \left(0,012 - 0,085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} + 12 \rho_t^e \right) \geq 0,0$ $\left(0,012 - 0,085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} + 12 \rho_t^e \right) \leq 0,06$ $c = 0,15 + 36 \rho_t \leq 0,4$	0,0	0,5b	0,7b

Not: ρ_t , çekirdeğe yeterince sabitlenmediğinde hiçbir durumda 0,0175'ten fazla veya 0,0075'ten küçük alınmamalıdır. Tablodaki denklemler ρ_t değeri 0,0005'ten küçük olan kolonlar için geçerli değildir.
 V_{YE} / V_{COIOE} , 0,2'den az alınmamalıdır.
 N_{UD} , Denklemde (7-34)'te. Açıklandığı gibi yanal kuvvetlerin etkilerini açıklayan maksimum basınç eksenel yük hesabı olacaktır. Alternatif olarak, N_{UD} 'un bir limit-durum analizine dayanarak değerlendirilmesine izin verilecektir.
a) b, $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} > 0,5$ için $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} = 0,5$ değerinden $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} = 0,7$ değerinde lineer olarak azaltılacaktır, ancak a'dan küçük olmamalıdır
b) $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} > 0,1$ 'den küçük alınmamalıdır.
c) Kolonların, ekteki hesaplanan çelik stresinin Denklem (10-1a) veya (10-1b) tarafından belirtilen çelik stresi aştığı yetersiz gelişme veya ek yerleri ile kontrol edildiği düşünülmektedir. Yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar için modelleme parametresi, yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilmeyen sütünların parametrelerini asla aşmayacaktır.
d) a Yeterli gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar için, birleşme bölgesinde sıfır alınacak, uzunluğu boyunca en az iki bağ grubu tarafından geçilmeyecektir.
e) ρ_t , 0,0075'ten daha fazla alınmaz.

Tablo 15. Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kirişler (ASCE 41-17, 2017)

Durum	Modelleme değişkenleri			Kabul edilmiş kriterler				
	Plastik Dönme Açıları (Rad)		Artık dayanım oranı	Plastik dönme açısı (Rad)				
	Performans seviyesi							
Durum 1: Eğilme davranışı kontrolündeki kirişler ^b								
$\frac{(\rho - \rho')}{\rho}$	Enine donatı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_{CE}}}$	a	b	c	IO	LS	CP
≤ 0,0	C	≤ 3 (0,25)	0,025	0,050	0,2	0,0100	0,025	0,050
≤ 0,0	C	≥ 6 (0,5)	0,020	0,040	0,2	0,0050	0,020	0,040
≥ 0,5	C	≤ 3 (0,25)	0,020	0,030	0,2	0,0050	0,020	0,030
≥ 0,5	C	≥ 6 (0,5)	0,015	0,020	0,2	0,0050	0,015	0,020
≤ 0,0	NC	≤ 3 (0,25)	0,020	0,030	0,2	0,0050	0,020	0,030
≤ 0,0	NC	≥ 6 (0,5)	0,010	0,015	0,2	0,0015	0,010	0,015
≥ 0,5	NC	≤ 3 (0,25)	0,010	0,015	0,2	0,0050	0,010	0,015
≥ 0,5	NC	≥ 6 (0,5)	0,005	0,010	0,2	0,0015	0,005	0,010
Durum 2: kesme davranışı kontrolündeki kirişler ^b								
Etriye Aralığı ≤ d/2			0,003	0,020	0,2	0,0015	0,010	0,020
Etriye Aralığı ≥ d/2			0,003	0,010	0,2	0,0015	0,005	0,010
Durum 3: Açıklık boyunca yetersiz donatı ve bindirme boyu kontrolündeki kirişler ^b								
Etriye Aralığı ≤ d/2			0,003	0,020	0,0	0,0015	0,010	0,020
Etriye Aralığı ≥ d/2			0,003	0,010	0,0	0,0015	0,005	0,010
Durum 4: Kolon kiriş birleşim bölgesine yeterli derecede saplanmamış kirişler ^b								
			0,015	0,03	0,2	0,0100	0,020	0,030

Not: f'_{CE} in lb/in² ve (MPa) olarak verilmiştir.

a Tabloda listelenenler arasındaki değerler doğrusal enterpolasyon ile belirlenir.

b Durum i,ii,iii,iv'ten birden fazla halin sağlanması durumunda, minimum şartı sağlayacak değerler kullanılır.

c Sırasıyla "C" ve "NC", uygun ve uygun olmayan enine donatıların kısaltmalarıdır. Enine donatının uygun olması için plastik mafsal bölgesinde, etriye aralığı d/3 ten küçük olmalı, orta ve yüksek süneklik talebine sahip elemanlar için, kesme donatıları tasarım kesme kuvvetlerinin ¾'ünü taşımalıdır. Aksi halde enine donatıların uygun olmadığı kabul edilir.

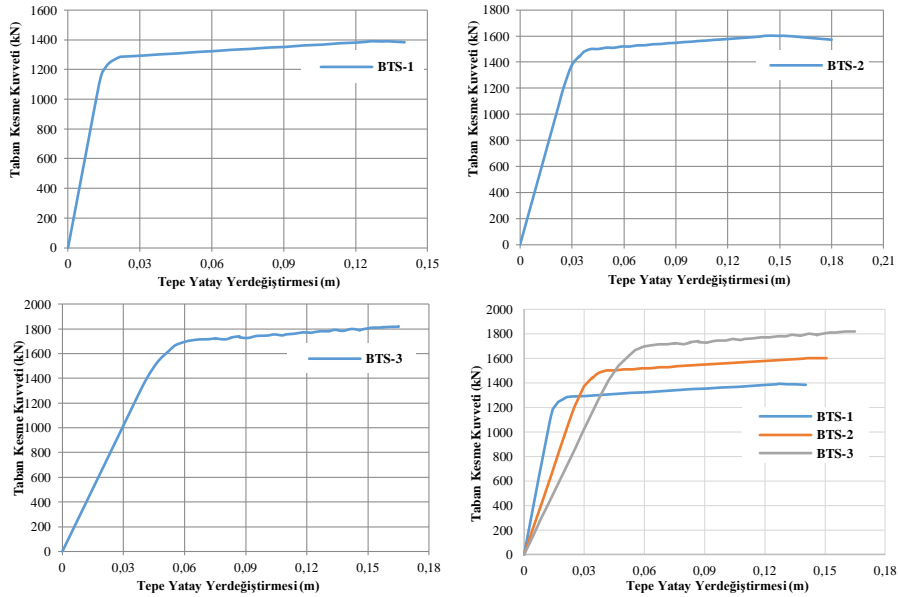
d V, NSP veya NDP'nin tasarım kesme kuvvetidir.

Bulgular ve Tartışma

Betonarme taşıyıcı sistemlerin basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analizinin yapılabilmesi için, etkin en-kesit rijitlikleri, eşdeğer deprem yükü dağılımları ve plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin en-kesit rijitlik çarpanları, eşdeğer deprem yükü dağılımları için yukarıda verilen veriler ele alınmıştır. Plastik mafsal özellikleri SAP2000 programında varsayılan (default) olarak analizlerde ele alınmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak betonarme taşıyıcı sistemlerin itme analizi SAP 2000 programı ile gerçekleştirilerek analiz sonuçları elde edilmiştir.

Betonarme taşıyıcı sistemlerin basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analizi sonucunda kapasite eğrilerinin elde edilmesi

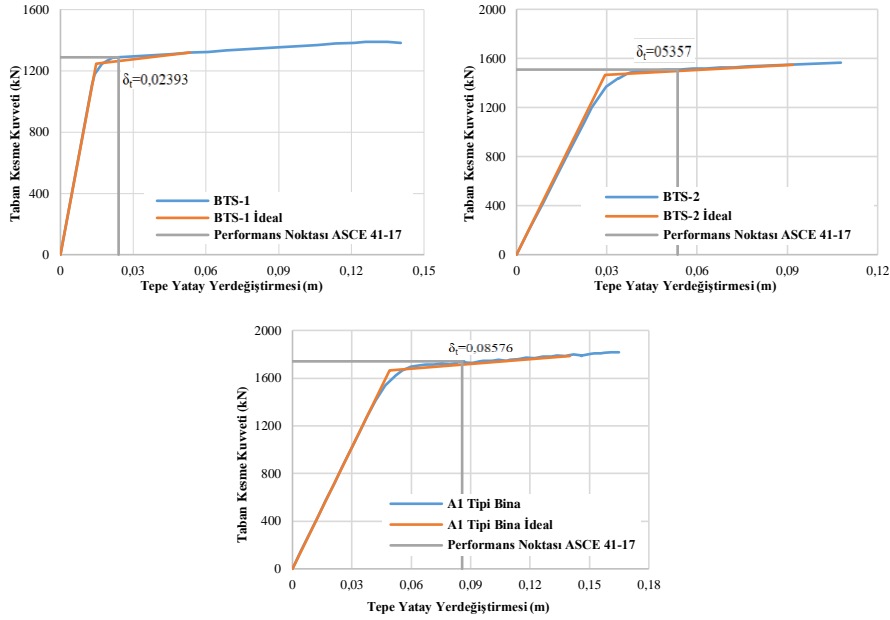
Betonarme taşıyıcı sistemlerin basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analizleri yapılarak taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme grafiği (kapasite eğrileri) elde edilmiştir. BTS-1, BTS-2 ve BTS-3 tip taşıyıcı sistem modellerinin basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analizleri SAP 2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda 3 tip binanın, itme grafiği (tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti) grafikleri elde edilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin kapasite eğrileri ve karşılaştırma grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. BTS-1, BTS-2 ve BTS-3 taşıyıcı sistem modeli için kapasite eğrisi ve karşılaştırma grafiği

Betonarme taşıyıcı sistemlerin performans noktalarının belirlenmesi

Betonarme taşıyıcı sistemlerin taban kesme kuvveti (kN) - tepe yer değiştirmesi (m) (kapasite eğrileri) Şekil 5’de verilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin performans noktalarının belirlenmesi için, taşıyıcı sistemlerin taban kesme kuvveti (kN)- tepe yer değiştirmesi (m) olan kapasite eğrilerinin üzerinde ASCE 41-17’ye göre performans noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda ASCE 41-17’ye göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirmesi (δ_t) hesaplanarak ona karşı gelen taban kesme kuvveti bulunmuştur. Betonarme taşıyıcı sistemlerin performans noktaları Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. BTS-1, BTS-2ve BTS-3 betonarme taşıyıcı sistemlerinin performans noktaları

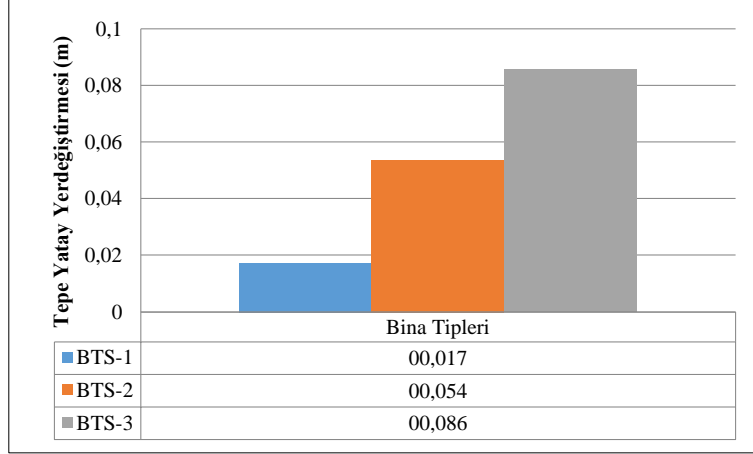
Tablo 16. BTS-1, 2 ve 3 taşıyıcı sistemi için tepe yer değiştirmesi istemleri δ_t ve gereken katsayıları

Parametreler	Bina Tipi	Bina Tipi	Bina Tipi	Birimler
	BTS-1 Tipi Bina	BTS-2 Tipi Bina	BTS-3 Tipi Bina	
C_0	1,00000	1,20000	1,30000	-
C_1	0,99230	0,99750	0,99720	-
C_2	1,00005	1,00002	1,00000	-
S_a	1,07530	0,58261	0,40329	m/s ²
T_e	0,30042	0,55590	0,81247	s
δ_t	0,02393	0,05357	0,08576	m

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

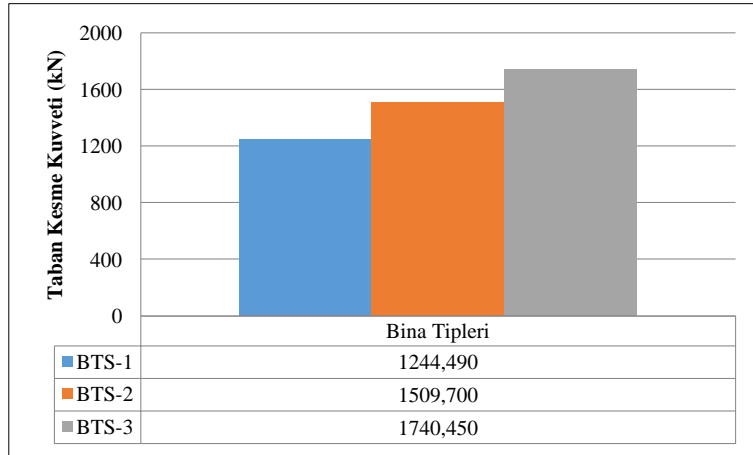
Betonarme taşıyıcı sistemlerin elde edilen δ_t tepe yer değiştirmesi istemi büyüklükleri yapı sistemlerinin performans noktası olarak tanımlanmaktadır. Yapı sistemlerinin performans değerlendirmesi bu tepe yer değiştirmesine göre yapılmaktadır. SAP 2000 programı ile gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonucunda, BTS-1 tipi binada 11. BTS-2 tipi binada 11. ve BTS-3 tipi binada 28. hesap adımı yapı sistemlerinin performans değerlendirilmelerinin yapılacağı hesap adımları olarak belirlenmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin performans değerlendirilmelerinin yapılacağı

adımlardaki istemler (tepe yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve görel kat ötelemeleri) sırasıyla aşağıda verilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin performans noktalarında elde edilen tepe yer değiştirmesi istemleri Şekil 7’de karşılaştırma olarak verilmiştir.



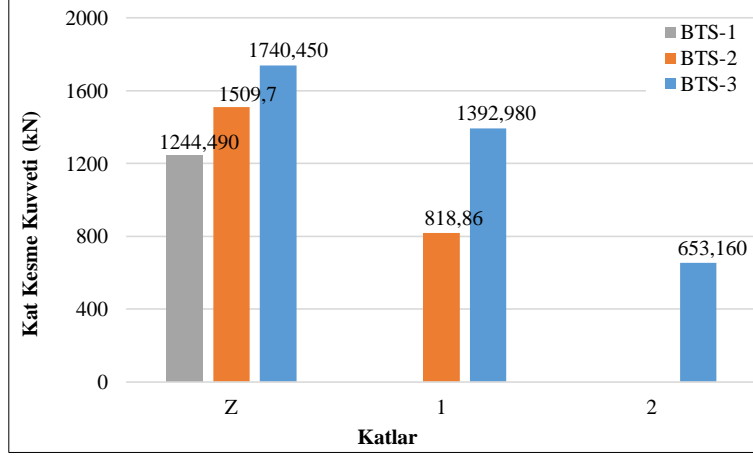
Şekil 7. Betonarme taşıyıcı sistemlerinin performans noktalarındaki tepe yer değiştirmesi istemlerinin karşılaştırma grafiği

Betonarme taşıyıcı sistemler için performans noktalarında elde edilen taban kesme kuvveti istemlerinin grafiği karşılaştırma olarak Şekil 8’de verilmiştir.



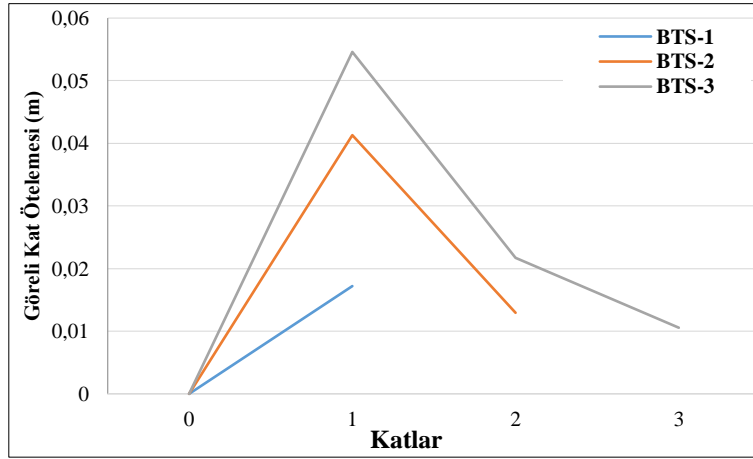
Şekil 8. Betonarme taşıyıcı sistemlerinin performans noktalarındaki taban kesme kuvveti istemlerinin karşılaştırma grafiği

Betonarme yapı sistemleri için performans noktalarında elde edilen kat kesme kuvveti istemlerinin karşılaştırma grafiği Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Betonarme taşıyıcı sistemlerin performans noktalarındaki kat kesme kuvveti istemlerinin karşılaştırma grafiği

Betonarme taşıyıcı sistemler için performans noktalarında elde edilen görelî kat ötelemesi istemlerinin karşılaştırmalı grafiği Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Betonarme taşıyıcı sistemlerinin performans noktalarındaki görelî kat ötelemesi istemlerinin karşılaştırmalı grafiği

Sonuçlar

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan; deprem analizinde ASCE 41-17'ye göre tanımlanan çatlamış kesit rijitlik oranları ve kat sayısına göre sonuçlar değişmektedir. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmuştur.

- Betonarme taşıyıcı sistemlerin x doğrultusundaki birinci titreşim modlarına ait periyotları kat sayısı arttığı zaman artmaktadır.
- Betonarme taşıyıcı sistemlerin x doğrultusundaki birinci titreşim modlarının etkin kütle oranları kat sayısı arttığı zaman azalmaktadır.
- Betonarme taşıyıcı sistemlerde x doğrultusunda hâkim mod şekli genlikleri ve eşdeğer deprem yükü dağılımının miktarı kat sayısı arttığı zaman azalmaktadır. Birinci (hâkim mod) şekli

genlikleri ve eşdeğer deprem yükü dağılımının miktarı etkilenen düşey yüklerin miktarına bağlıdır.

- Şekil 7’de belirtilen tepe yer değiştirmelerinin karşılaştırılmasına bakıldığı zaman kat sayısı yükseldikçe tepe yer değiştirme miktarı artmaktadır.
- Şekil 8’de açıklanan betonarme yapı sistemlerinin taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırma grafiğine göre, kat sayısı yükseldikçe taban kesme kuvvetinin miktarı artmaktadır. Fakat kat sayısı yükseldikçe taban kesme kuvvetinin artması bazında yüzdelerik artış daha fazladır.
- Üç farklı tip betonarme taşıyıcı sistem için kat kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında kat sayısı yükseldikçe kat kesme kuvvetinin miktarı da artmaktadır. Kat sayısı yükseldiği zaman kat kesme kuvvetinin artması bazında yüzdelerik artış miktarı artmaktadır. Bu durumda kat kesme kuvveti kat sayısı ve düşey yük miktarına bağlıdır.
- Şekil 10’da verilen üç farklı yapı sistemi için görelilik kat ötelemeleri karşılaştırıldığında, kat sayısı yükseldikçe görelilik kat ötelemesi miktarı artmaktadır. Kat sayısı yükseldikçe görelilik kat ötelemesinin artması bazında yüzdelerik artış miktarı azalmaktadır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerde kolonların eğilme rijitlik çarpanları ASCE 41-17’ye göre hesaplanmıştır. Hesaplanan kolonların eğilme rijitlikleri çarpanları düşey yüklere bağlıdır. Bu nedenle kat sayısı artıktıkça kolonların etkin eğilme rijitlik çarpanları artırılmaktadır.

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

Applied Technology Council, ATC-40. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, vols. 1 and 2. California; 1996.

ASCE 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings; American Society of Civil Engineers: Reston, VA, USA, 2017.

Federal Emergency Management Agency, FEMA-356. Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings. Washington (DC); 2000.

ideCAD Statik IDS v10.05. Yapı Analiz Programı, ideYAPI Bilgisayar Destekli Tasarım Mühendislik Danışmanlık Taahhüt A.Ş., İstanbul, 2018.

Krawinkler H. Pushover analysis: why how when, and when not to use it. In: Proceedings of 1996 convention, structural engineer’s association of California, 1996; p. 17–36, Maui, Hawaii.

Krawinkler H., Seneviratna GDPK. Pros and cons of a pushover analysis for seismic performance evaluation. Eng Struct 1998; 20(4): 452-464.

- Mwafy A., Elnashai A. Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings. Eng Struct 2001; 23(5): 407-424.
- Papanikolaou VK., Elnashai AS., Pareja JF. Evaluation of conventional and adaptive pushover analysis II: comparative results. J Earthq Eng 2006; 10(1): 127-151.
- Priestley MJN. Myths and fallacies in earthquake engineering-conflicts between design and reality. Bull N Z Natl Soc Earthq Eng 1993; 26(3): 329-341.
- SAP2000. Structural software for analysis and design, Computers and Structures, Inc. Version 20.0.0. USA.

Çevrimiçi Ortamlarda Öğrenim Gören Üniversite Öğrencilerinin Bilişim Etiğine Yönelik İmge ve Algıları: Bir Metafor Analizi

Mithat ELÇİÇEK^{1*}

¹Siirt Üniversitesi, Grafik Tasarım Bölümü, Siirt

¹<https://orcid.org/0000-0003-1845-7271>

*Sorumlu yazar: mithat_elcicek@siirt.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.12.2021

Kabul tarihi: 24.01.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Bilişim etiği

Metafor analizi

Çevrimiçi öğrenme

Uzaktan eğitim

ÖZ

Bu çalışmanın amacı zorunlu uzaktan eğitim kapsamında (Covid-19 Pandemisi) çevrimiçi ortamlarda öğrenim gören üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yönelik metaforik imge ve algılarını incelemektir. Bu amaçla, üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yükledikleri metaforik imge ve algılarının incelendiği bu çalışma nitel olgubilim (fenomenoloji) çalışması olarak desenlenmiştir. Çalışmada verilerin toplanıp yorumlanması sürecinde metafor analizinden faydalanılmıştır. Çalışma 2020-2021 eğitim öğretim yılında Türkiye'nin doğusunda bulunan bir devlet üniversitesinde toplam 85 üniversite öğrencisi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma verileri çevrimiçi olarak oluşturulan "Metafor Formu" aracılığıyla toplanmıştır. Çalışmada olumlu metafor grubunda tamamlayıcı, destekleyici, düzenleyici, motive edici ve yarar sağlayıcı temaları ortaya çıkmıştır. Olumsuz metafor grubunda ise belirsiz, zorunlu ve sınırlayıcı temaları ortaya çıkmıştır. Çalışma sonucuna göre araştırma bulguları ve literatürdeki çalışmalar ışığında ileride yapılacak araştırmalara kaynaklık etmesi açısından bir dizi öneride bulunulmuştur.

Images and Perceptions of University Students Studying in Online Environments Towards Informatics Ethics: A Metaphor Analysis

Research Article

Article History:

Received: 24.12.2021

Accepted: 24.01.2022

Published online:08.03.2022

Keywords:

Informatics ethics

Metaphor analysis

Online learning

Distance education

ABSTRACT

This study seeks to investigate the metaphorical images and perceptions of university students studying online within the scope of compulsory distance education (Covid-19 Pandemic). For this purpose, focusing on the metaphorical images and perceptions attributed by university students to informatics ethics, this study was designed as a qualitative phenomenology study. In the study, metaphor analysis was used for collecting and interpreting the data. The study was carried out with a total of 85 university students at a state university located in the east of Turkey during the 2020-2021 academic year. Research data were collected through the "Metaphor Form" created online. In the study, complimentary, supportive, regulatory, incentive, and beneficial themes emerged in the positive metaphor group. In the negative metaphor group, ambiguous, compulsory, and restrictive themes emerged. According to the results of the study, in the light of research findings and studies in the literature, a number of suggestions were made to provide a source for future research.

To Cite: Elçiçek M. Çevrimiçi Ortamlarda Öğrenim Gören Üniversite Öğrencilerinin Bilişim Etiğine Yönelik İmge ve Algıları: Bir Metafor Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):205-223.

Giriş

Bilişim teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler birey ve toplum hayatını önemli ölçüde etkileyerek insanların yaşam kalitesini artıran yenilikler sunmuştur. Bu yenilikler her sektörde olduğu gibi eğitim çevrelerinde de yakından takip edilmiştir. Çünkü sürdürülebilir yenilikçi eğitim sistemlerinde öğretim programlarının çağın gereksinimlerine göre yenilenmesi oldukça önemlidir (Karalı ve ark., 2021). Bu bağlamda eğitim sistemlerinin gelişen teknolojilere ayak uydurması ve bu yönde yeni uygulamalar geliştirmesi beklenmektedir (Şeyda, 2020; Elçiçek ve Erdemci, 2021). Literatür incelendiğinde son yıllarda sanal öğrenme, mobil öğrenme, e-öğrenme, makine öğrenmesi ve yapay zekâ uygulamaları gibi yeni teknolojilerin eğitim alanlarında sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Elçiçek ve Karal, 2019; Sezgin, 2019; Arslan, 2020; Kuleto ve ark., 2021). Bu teknolojilerle eğitimde fırsatları artırma ve teknolojinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Nitekim bu amaç doğrultusunda ülkemiz ve yurtdışında pek çok proje hayata geçirilerek öğrenenlerin bu teknolojiler ile tanışmaları sağlanmıştır. Ülkemizde hali hazırda devam eden bu projelerden biri de FATİH (Eğitimde Fırsatları Artırma ve Teknolojiyi İyileştirme Hareketi) projesidir. Bu projeye milyonlarca öğrencinin eğitim teknolojileriyle tanışması ve bu teknolojileri kullanarak öğrenme süreçlerini zenginleştirmesi hedeflenmiştir (Baz, 2017). Ancak bilişim teknolojilerinin eğitim alanlarında geniş yer bulmasının olumlu yönleri olduğu kadar bazı olumsuz yönlerinin de olduğu bir gerçektir (Yusufoğlu, 2017). Özellikle 2019 yılında başlayan Covid-19 pandemisiyle birlikte öğrenenlerin dijital ortamlarda daha çok zaman geçirdikleri ve bilişim teknolojilerini daha çok kullandıkları bilinmektedir (Elçiçek, 2021a; Elçiçek, 2021b). Bilişim teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması fikri mülkiyet, telif hakları, yetkisiz erişim, sahtecilik, dolandırıcılık, siber zorbalık, sayısal uçurum ve güvenlik ihlali gibi etik sorunları da beraberinde getirmiştir (Dedeoğlu, 2006; Korkmaz ve Mahiroğlu, 2007; Köse ve ark., 2007; Balcı ve Gülnar, 2009; Kır ve Sulak, 2014; Aslanyürek, 2016). Bu açıdan değerlendirildiğinde eğitim çevrelerinin öğrenenlere sunduğu teknolojik desteklerin sadece öğrencilerin bilgi ve becerilerini geliştirmesi değil aynı zamanda toplumsal ahlak ve karakter eğitimi gibi bazı temel değerleri de kazandırması önemlidir. Bu bağlamda gerçek hayatta olduğu gibi dijital mecralarda da birtakım standartları bulunan etik değerlerin öğrenenlere kazandırılması ve bu yolla farkındalık oluşturulması gerekmektedir.

Bilişim teknolojilerinin kullanımı neticesinde ortaya çıktığı düşünülen etik problemler 2000'li yılların başlarında konu edilmeye başlanmış ancak son yıllarda hızlı bir ivme kazanmıştır (Teoli ve Ghassemzadeh, 2019; Subbian ve ark., 2021). Bilişim etiği olarak nitelendirilen bu çerçevede kapsamında ilk ve ortaokul kademelerinde bilişim etiğini kazandırmaya yönelik öyküsel tekniklerin, lise kademelerinde siber zorbalık deneyimleri ve yükseköğretim kademelerinde teknoloji politikalarının ön plana çıktığı görülmektedir (Baker ve Kavşut, 2007; Hur ve ark., 2009; Zeybek, 2011). Çünkü öğrenenlerin yetiştiği sosyo-kültürel çevre ve sosyal normlar konusundaki bilgi yetersizlikleri etik olmayan davranışlarda etkili olabilmektedir. Dolayısıyla bilişim etiği kavramı tüm toplumlar için önemlidir.

Etik kelimesi yunanca karakter anlamına gelmektedir, sözlükte ise davranış standartları ve ahlak olarak tanımlanmaktadır. Etik kavramına ilişkin literatür incelendiğinde iyiyi ve kötüyü ayırt etmek için oluşturulan kurallar olarak tanımlandığı görülmektedir. Bu bağlamda bilişim etiği, bilişim teknolojilerini kullananların davranışlarını inceleyen uygulamalı bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. En yalın haliyle bilişim etiği, bilişim teknolojileri araçlarını kullanırken uyulması gereken kuralları tanımlayan normlar olarak ifade edilmektedir. Bu sayede bilişim teknolojilerini kullanan bireylerin en az zarar ve en çok fayda ile dijital ortamları kullanması güvence altına alınmış olur. Nitekim CEI (Computer Ethics Institute), IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineer), TBD (Türkiye Bilişim Derneği), TTGV (Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı) gibi kuruluşlar tarafından belirlenen etik ilkelerin odak noktasında toplum yararı vurgusu yatmaktadır. Tüm bu etik kurallar, bilişim teknolojileri etik sorunlarının en aza indirgenmesini hedeflemektedir. Bilişim teknolojilerindeki etik sorunlar en aza indirilerek bireylerde farkındalık ve bilinç oluşturulması gerekmektedir. Bu kapsamda Türkiye’deki ortaokul kademelerinde “Bilişim Teknolojileri ve Yazılım” ders müfredatında bilişim etiğine önemli bir yer ayrılmıştır. Üniversite kademesinde ise henüz genel kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bununla birlikte literatürde hem K-12 hem de yükseköğretim düzeyinde öğrencilerin etik dışı davranışlarına yönelik yapılan çalışmalara rastlanmaktadır (Haines ve Leonard, 2007; Akbulut ve ark., 2008; Aksal, 2011; Chang, 2011; Erişti ve Küçüker, 2011; Beyhan ve Tunç, 2012). Ancak bilişim teknolojisi araçların yoğun bir biçimde kullanıldığı zorunlu uzaktan eğitim (Covid-19 Pandemisi) sürecinde üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yönelik imge ve algılarını anlamaya yönelik bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çerçevede süreç ve işleyiş bakımından yüz yüze eğitime göre farklılıklar içeren uzaktan eğitim sürecindeki üniversite öğrencilerin bilişim etiği deneyimlerinin ve bilişim etiğini yorumlama şekillerinin de farklı olduğu düşünülmektedir.

İlgili literatür incelendiğinde öğrenen ve öğretenlerin bilişim etiğine yönelik metaforik algılarını anlamaya yönelik sınırlı sayıda çalışmalar olduğu ancak çevrimiçi ortamlarda öğrenim gören üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yönelik imge ve algılarını anlamaya yönelik bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu bağlamda çalışmanın amacı zorunlu uzaktan eğitim kapsamında (Covid-19 Pandemisi) çevrimiçi ortamlarda öğrenim gören üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yönelik metaforik imge ve algılarını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki araştırma sorusuna yanıt aranmıştır:

Zorunlu uzaktan eğitim kapsamında (Covid-19 Pandemisi) çevrimiçi ortamlarda öğrenim gören üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yükledikleri olumlu ve olumsuz metaforlar nelerdir?

Yöntem

Zorunlu uzaktan eğitim kapsamında çevrimiçi ortamlarda öğrenim gören üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yükledikleri metaforik imge ve algılarının incelendiği bu çalışma nitel olgubilim (fenomenoloji) çalışması olarak desenlemiştir. Olgubilim, belirli bir olgu veya kavramla ilgili bakış

açısı veya algıyı tanımlamak için kullanılan nitel bir araştırma yöntemidir (Baş ve Akturan, 2013; Yıldırım ve Şimşek, 2013). Çalışmada verilerin toplanıp yorumlanması sürecinde metafor analizinden faydalanılmıştır. Metafor analizinin bu çalışmada tercih edilmesinin sebebi öğrencilerin bilişim etiği olgusuna ilişkin yaşantılarını, algılarını ve bunlara yüklediği anlamları meydana çıkartarak bilişim etiğini tanımlayabilecek temaları bulmaktır. Metaforlar birey veya toplumların gerçekliği algılama şeklini ve bilişsel şemalarının soyut modellerini ifade etmektedir (Bozkurt, 2020). Başka bir ifadeyle metafor çalışması, bir kavramı açıklamak için başka bir kavramla karşılaştırıldığı bilişsel bir açıklama sürecidir (Parsons ve ark., 2004). Metaforlar çoğu zaman dünyaya bakış açımız ve yorumlama şeklimizin bir göstergesidir (Bozkurt, 2020). Dolayısıyla bireylerin dünyaya bakış açıları ve yorumlama şekillerini anlamak için metaforlar veri toplama ve analiz aracının yanında araştırmacılar için önemli bir dayanak olabilir.

Çalışma Grubu

Araştırma 2020-2021 eğitim öğretim yılında Türkiye'nin doğusunda bulunan bir devlet üniversitesinin Mimarlık, Şehir ve Bölge Planlama bölümlerine kayıtlı üniversite öğrencileri ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya ikinci sınıfta öğrenim görmekte olup 45 (%53) kadın ve 40 (%47) erkek olmak üzere toplam 85 öğrenci katılmıştır. Katılımcıların tamamı daha önce “Dijital Okuryazarlık” dersi aldıkları için bilişim etiğine dair belli bir doygunlukta bilgi birikimine sahiptirler.

Verilerin Toplanması

Araştırma verileri çevrimiçi olarak oluşturulan “Metafor Formu” aracılığıyla toplanmıştır. İlk olarak araştırmanın yapıldığı üniversitesinin Etik Kurulu'ndan gerekli izin ve onaylar alınmıştır. Daha sonra metafor formunun yer aldığı bağlantı adresi öğrencilerin mail adreslerine gönderilmiştir. Gönderilen bağlantı adresinde gerekli yönergeler yer verilerek formun öğrenciler tarafından gönüllülük esasına göre doldurulması istenmiştir. Çevrimiçi toplanan veriler analiz edilmeden önce verilerin güvenilirliği kontrol edilmiştir. 98 öğrenciden toplanan veriler içerisinden eksik ve hatalı ya da metaforik yapıya uymaması (dayanak ifadesinin “çünkü” boş bırakılması) nedeniyle 13'ü değerlendirmeye alınmamıştır.

Çalışmada “Bilişim etiği gibidir, çünkü.....” tamamlanması istenerek öğrencilerin bilişim etiği olgusuyla ilgili metafor öğeleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Soruda “gibi” kavramı “metaforun konusu” ile “metaforun kaynağı” arasındaki bağı daha açık bir şekilde bağdaştırmak için kullanılmaktadır. “Çünkü” ifadesi ise bilişim etiği kavramına ilişkin algılarını detaylı olarak belirlemek, bir gerekçe veya mantıksal dayanak sunmaları için kullanılmıştır (Saban, 2009; Yıldırım ve Şimşek 2013).

Verilerin Analizi

Verilerin analizi araştırmacı tarafından içerik analizi yoluyla gerçekleştirilmiştir. İçerik analizi belirli kurallara göre yapılan kodlamalarla bir metnin daha küçük içerik kategorileri ile tanımlandığı, sistematik bir analiz yöntemidir (Büyüköztürk, 2010). İçerik analizi sırasında öğrenciler tarafından oluşturulan metaforlar; benzeyen (metaforun konusu), benzetilen (metaforun kaynağı) ve benzetilene ait özellikler (atfedilen özellikler) açısından incelenmiştir. Yapılan içerik analizinde ortaya çıkan temaların kodlanması araştırmacı tarafından yapılmıştır. Devamında kapsam geçerliliğini sağlamak için aynı işlem bir başka araştırmacı tarafından tekrar edilmiştir. Kodlayıcılar arası güvenirliği hesaplamak için ise Miles ve Huberman (1994) tarafından nerilen Görüş Birliği / (Görüş Ayrılığı + Görüş Birliği) x 100 formülü kullanılmış ve kodlayıcılar arası güvenirlik %93 olarak hesaplanmıştır. Toplanan verilerin raporlanmasında frekans ve yüzdelerin kullanıldığı betimsel analizlerden yararlanılmıştır. Kategori, tema ve kodların niceliksel olarak betimlenerek ifade edilmesi betimsel analiz olarak ifade edilmektedir. Elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak betimsel analiz yoluyla frekans ve yüzde şeklinde tablolaştırılmıştır.

Geçerlilik ve Güvenirlik

Zorunlu uzaktan eğitim kapsamında (Covid-19 Pandemisi) evrimii ortamlarda öğrenim gören niversite ğrencilerinin bilişim etiğine yönelik metaforik imge ve algılarının araştırıldığı bu çalışmada görüşme formunda kullanılan sorunun kapsam geçerliliğini sağlamak için nitel araştırma yöntemlerinde deneyimi olan bir ğretim üyesinden destek alınmıştır. İ geçerliliği sağlamak için yeterli katılım stratejisi benimsenerek (Merriam ve Tisdell, 2015) toplam 98 niversite öğrencisinden veri toplanmış ve bu şekilde verilen yanıtlarda bir doyuma ulaşılması sağlanmıştır. İ geçerliliği artırmak ve ortaya çıkan temaları desteklemek için örnek katılımcı yanıtları ilgili kategori ve temalar altında doğrudan alıntı şeklinde sunulmuştur.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada öncelikle metaforlar kodlanmış, kategorilere ayrılmış ve bu kategoriler bilişim etiği literatürü ile ilişkilendirilebilecek temalara atanmıştır. Olumlu ve olumsuz metaforların ayrı ayrı ele alındığı bu bölümde ortaya çıkan kategori ve bulgular sunulmuş, ortaya çıkan temaları desteklemek ve çalışmanın güvenirliğini arttırmak için doğrudan alıntılara yer verilmiştir.

Olumlu Metaforlar

Olumlu metaforlar toplam beş kategori ve bu kategoriler altında yer alan toplam dokuz temadan oluşmaktadır (Tablo 1). ‘‘Tamamlayıcı’’ kategorisinde ‘‘yol gösterici’’ (%10,6) ve ‘‘sorun üzücü’’ (%5,8) temaları; ‘‘destekleyici’’ kategorisinde ‘‘kolaylaştırıcı’’ (%7) ve ‘‘nleyici’’ (%10,6) temaları;

“Bilişim etiği web tarayıcısındaki çerez (cookie) gibidir, çünkü aklımıza gelmeyen kelimelerin doğrusunu bizim için tamamlar.” (E9)

“Bilişim etiği ipucu gibidir, çünkü bir bilinmeyende gezinirken bizi en iyi o yönlendirir.” (K77)

“Bilişim etiği anne gibidir, çünkü yanlış yapmamıza izin vermez hemen doğrusunu gösterir.” (E21)

“Bilişim etiği yön tabelası gibidir, çünkü nereye gitmemiz gerektiğini bize gösterir.” (E78)

“Bilişim etiği fener gibidir, çünkü karanlığı yok eder yolu aydınlatır.” (E10)

“Bilişim etiği elektrik gibidir, çünkü elektrik her sorunu çözer.” (K43)

“Bilişim etiği büyük baba gibidir, çünkü her sorunun çözüm merciidir.” (E8)

Buna göre öğrenciler bilişim etiğinin dijital ortamlardaki “tamamlayıcı” özelliklerini “yol gösterici” ve “sorun çözücü” temalarına yüklenen “rehber, çerez (cookie), ipucu, anne, yön tabelası, fener, elektrik ve büyük baba” metaforlarıyla nitelenmişlerdir. Bilişim etiğinin “tamamlayıcı” rolü üzerinden bilişim etiği kavramına yüklenen anlamlar ilgili literatür ile tutarlılık göstermektedir. Literatür incelendiğinde bu çalışmada belirlenen metaforlar aracılığı ile bilişim etiği kavramına yüklenen anlamların bazı araştırma sonuçları ile örtüştüğü görülmektedir. Fidan (2016) bilişim etiğinin sahip olduğu ilke ve kuralların yol gösterici rolüne; Mason (1986) ise dijital ortamlarda yaşanan fikri mülkiyet, doğruluk, gizlilik ve erişim gibi etik problemlerdeki sorun çözücü rolüne dikkat çekmektedir. Buna göre bilişim etiği, yasalar tarafından düzenli bir şekilde denetlenmeyen dijital ortamlarda, bireylerin karşılaştığı sorunları çözmek ve bireylere yol göstermesi açısından önemli roller üstlenmiştir (Cerrah, 2002). Bu bağlamda bilişim etiğinin bireylerin bilişim teknolojileri araçlarını kullanırken uyması gereken kuralları tanımlaması ve kullanıcıların en az zarar ile dijital ortamlardan yararlanması noktasında tamamlayıcı bir çerçeve rolü üstlendiği söylenebilir (Brey, 2000; Arıkan ve Duymaz, 2015).

“Destekleyici” Kategorisi

Bu kategori altında ortaya çıkan metaforlar “kolaylaştırıcı” ve “önleyici” temalarıyla ilişkilendirilmiştir. “Kolaylaştırıcı” temasına ilişkin 8 öğrenci (%3,21) “asansör”, “saygı”, “trafik ışığı”, “arama motoru” metaforlarını; “önleyici” temasına ilişkin ise 8 öğrenci (%3,21) “güvenlik duvarı, park sensörü, hava yastığı” metaforlarını kullanmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıdaki gibidir:

“Bilişim etiği asansör gibidir, çünkü asansör sayesinde merdiven çıkmaktan kurtuluruz.” (E1)

“Bilişim etiği saygı gibidir, çünkü saygı huzur içinde birlikte yaşamamızı sağlıyor (K11)

“Bilişim etiği trafik ışığı gibidir, çünkü trafik ışığı sayesinde gideceğimiz yere kolayca gideriz.” (E68)

“Bilişim etiği arama motoru gibidir, çünkü web de aradığımızı kolayca bulmamızı sağlar.” (K28)

“Bilişim etiği güvenlik duvarı gibidir, çünkü yanlış sitelere girmemizi önler.” (E30)

“Bilişim etiği park sensörü gibidir, çünkü duvara toslamamızı önler.” (E39)

“Bilişim etiği hava yastığı gibidir, çünkü ölüm riskini azaltır.” (K54)

Buna göre öğrenciler bilişim etiğinin “destekleyici” özelliklerini “kolaylaştırıcı” ve “önleyici” temalarına yüklenen “asansör, saygı, trafik ışığı, arama motoru, güvenlik duvarı, hava yastığı, park sensörü” metaforlarıyla nitelemişlerdir. İlgili literatüre göre bilişim etiği, kullanıcıların en az zarar ve maksimum fayda ile bilişim teknolojileri kullanımını güvence altına alır (Burton ve ark., 2018; Çelik ve Gündoğdu, 2019). Bilişim etiği doğrultusunda belirlenen normlar ve kurallar sayesinde dijital ortamlarda yaşanacak olası problemler önlenir ve yaşanan sorunlara çözülür (Mamat ve Baqutayan, 2019). Öğrencilerin metaforlar aracılığı ile bilişim etiği kavramına yükledikleri anlamlar bu sonuçlarla örtüşmektedir. Bununla birlikte zorunlu uzaktan eğitim (Covid-19 Pandemisi) süreciyle birlikte öğrencilerin eskiye oranla daha çok bilişim teknolojilerini kullanıyor olmaları kolaylaştırıcı ve önleyici metaforlarla ilişkilendirmelerinde etkili olmuş olabilir. Çünkü pandemiyle birlikte bilişim teknolojilerini yoğun bir şekilde kullanmak zorunda kalan öğrenciler bilişim etiğinin kolaylaştırıcı ve önleyici özelliklerini fark etmiş olabilirler. Nitekim Paksoy (2015) tarafından yürütülen çalışmada öğrencilerin bilgisayar ve internete sahip olma durumlarının bilişim etiği davranışlarını olumlu yönde desteklediği belirtilmektedir. Bu bağlamda günümüz bilgi ve iletişim teknolojisinde yaşanan hızlı gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda üniversite kademesindeki öğrencilerin bilgisayar ve internet ihtiyaçları bilişim etiği açısından bir gereksinim olarak değerlendirilebilir.

“Düzenleyici” Kategorisi

Bu kategori altında ortaya çıkan metaforlar “dengeleyici” temasıyla ilişkilendirilmiştir. “Dengeleyici” temasına ilişkin 8 öğrenci (%3,21) “yasa”, “vitamin”, “adalet”, “terazi” ve “kan şekeri” metaforlarını kullanmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıdaki gibidir:

“Bilişim etiği yasa gibidir, çünkü yasalar olmazsa orta denge düzen kalmaz.” (K6)

“Bilişim etiği vitamin gibidir, çünkü sağlığımız için gerekli takviyeleri dengeler.” (K36)

“Bilişim etiği adalet gibidir, çünkü adalet bir dengedir bu sayede haklı ile haksız ayırt edilir.” (E84)

“Bilişim etiği terazi gibidir, çünkü terazi olmazsa denge olmaz.” (K24)

“Bilişim etiği kan şekeri gibidir, çünkü ne çok yüksek ne çok düşük her zaman dengede olmalı.” (E26)

Buna göre öğrenciler bilişim etiğinin “düzenleyici” özelliklerini “dengeleyici” temasına yüklenen “yasa, vitamin, adalet, terazi, kan şekeri” metaforlarıyla nitelemişlerdir. Bu metaforlar öğrenciler tarafından bilişim etiğinin bireysel ve toplumsal düzenlemelere yol gösterecek denge unsurları olarak algılandığı şeklinde yorumlanabilir. Öğrencilerin bilişim etiğine yüklediği metaforlar bu denge

unsurlarına ilişkin deneyimlerin yaşandığı yönündedir. İlgili literatür incelendiğinde bilişim etiğinin bu teknolojilerin kullanımıyla ilgili ilkeleri ve kuralları kapsayan bir denge unsuru olarak ifade edildiği ve bilişim teknolojilerini kullanırken uymamız gereken yazılı ve yazılı olmayan kuralların düzenleyici rolüne vurgu yapıldığı görülmektedir (Bynum, 2001; Dennett, 2014; Tıngöy, 2009). Bu bağlamda kural ve ilkelerin bilişim etiğinin sahip olduğu öz değerlerden birisi olduğu söylenebilir. Bununla birlikte bilişim teknolojilerini etkin bir şekilde kullanan yeni nesil olarak tabir edilen günümüz öğrencilerinin bilişim etiğini bir denge unsuru olarak ifade etmeleri bilişim teknolojilerinin gelecekteki kullanımı ve imajı açısından da önemli olduğu düşünülmektedir. Çünkü bilişim teknolojilerini kullanırken hangi eylemlerimizin ne tür sonuçlar ortaya çıkaracağı ve bu sonuçlardan hangilerinin iyi mi kötü mü olacağı konusunda öğrenciler tarafından atfedilen düzenleyici rollere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada altı çizilmesi gereken husus, gelecekte bilişim teknolojilerini kullanacak bireylerin neredeyse tamamının günümüz öğrencilerinden oluşacağı ve dolayısıyla öğrencilerin sahip olduğu bu algının geleceğe yön vereceği öngörüsüdür.

“Motive Edici” Kategorisi

Bu kategori altında ortaya çıkan metaforlar “içsel” ve “dışsal” temalarıyla ilişkilendirilmiştir. “İçsel” temasına ilişkin 8 öğrenci (%3,21) “bilgi, saygı, özlenen, amaç” metaforlarını; “dışsal” temasına ilişkin ise 8 öğrenci (%3,21) “şeffaflık, çikolata, açık hava, güneş” metaforlarını kullanmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıdaki gibidir:

- “Bilişim etiği bilgi gibidir, çünkü bilgi erdemdir.” (E17)
- “Bilişim etiği saygı gibidir, çünkü saygı olmazsa huzur olmaz.” (K80)
- “Bilişim etiği özlenen gibidir, çünkü özlenen ayakta tutandır.” (E82)
- “Bilişim etiği amaç gibidir, çünkü amaç olmazsa çizginiz olmaz.” (E42)
- “Bilişim etiği şeffaflık gibidir, çünkü şeffaflık adil olmayı gerektirir.” (E20)
- “Bilişim etiği çikolata gibidir, çünkü çikolata mutlu eder.” (K65)
- “Bilişim etiği açık hava gibidir, çünkü herkese iyi gelir.” (E59)
- “Bilişim etiği güneş gibidir, çünkü ak ile karayı ayırt etmenizi sağlar.” (K16)

Buna göre öğrenciler bilişim etiğinin “motive edici” özelliklerini “içsel” ve “dışsal” temalarına yüklenen “bilgi, saygı, özlenen, amaç, şeffaflık, çikolata, açık hava, güneş” metaforlarıyla nitelmişlerdir. Bu kategori kapsamında ortaya çıkan temalarda dijital alanlardaki sosyal düzene dikkat çekilerek toplumun ve bireylerin yükümlükleri, bilgi birikimi ve deneyimlerinin kullanıcılarda oluşturduğu motivasyona dikkat çekilmiştir. Başkalarının haklarına saygı gösterme sorumluluğu, bireylerin iyelik hakları, toplumun bilişim teknolojisi uygulamaları ve bunların doğuracağı sonuçlar hakkındaki bilgi ve deneyimlerin öğrenciler tarafından motivasyon kaynağı olarak algılandığı şeklinde yorumlanabilir. Bilgi, saygı, özlenen ve amaç metaforlarıyla bilişim etiğini açıklamaya çalışan

öğrencilerin hedef belirleme, kararlı olma ve olumlu düşünme bağlamında içsel motivasyonlarını sağlayan bir anlayış olarak değerlendirdikleri görülmektedir. Şeffaflık, çikolata, açık hava ve güneş gibi metaforları kullanan öğrencilerin ise bilişim etiğinin ödül, esenlik, sağlık ve mutluluk bağlamında dışsal motivasyonlarına aracılık etiği anlaşılmaktadır. İlgili literatür incelendiğinde içsel ve dışsal motivasyon unsurlarının bilinç ve farkındalık oluşturma sürecine olumlu katkısı olacağı ifade edilmektedir (Roeser ve Peck, 2009; Uçar ve Kumtepe, 2020). Bu noktada motivasyon yoluyla öğrencilerde bilişim etiği farkındalığının oluşturulması/artırılması önemlidir (Leymun ve Odabaşı, 2019; Bozok ve ark., 2020). Çünkü her ne kadar bilişim etiğine ilişkin ilke ve kurallar olsa da bireylerin bunları benimsemesi ve davranışa dönüştürebilmesi için bilişim etiği bilincinin aşılması gerekir (Oyewole, 2017). Bu bağlamda bilişim etiğinin motive edici dinamikleri dikkate alınarak öğrencilerin bilişim teknolojileri etik kullanımları sağlanabilir.

“Yarar Sağlayıcı” Kategorisi

Bu kategori altında ortaya çıkan metaforlar “faydalı” ve “öğretici” temalarıyla ilişkilendirilmiştir. “Faydalı” temasına ilişkin 8 öğrenci (%3,21) “şemsiye, çatı, sığınak, oksijen, su, ilaç” metaforlarını; “öğretici” temasına ilişkin ise 8 öğrenci (%3,21) “öğretmen, ahlak, dürüstlük” metaforlarını kullanmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıdaki gibidir:

“Bilişim etiği şemsiye gibidir, çünkü şemsiye sayesinde yağmurdan korunuruz.” (E5)

“Bilişim etiği çatı gibidir, çünkü çatı olmazsa sürekli su damlatır.” (K18)

“Bilişim etiği sığınak gibidir, çünkü tüm zorluk ve kötülüklerden bizleri korur.” (K73)

“Bilişim etiği oksijen gibidir, çünkü oksijen olmazsa nefes alamayız.” (E62)

“Bilişim etiği su gibidir, çünkü su sayesinde hayatta kalırız.” (K32)

“Bilişim etiği ilaç gibidir, çünkü her derde devadır.” (E27)

“Bilişim etiği öğretmen gibidir, çünkü her şeyin doğrusunu bize o öğretir.” (E53)

“Bilişim etiği ahlak gibidir, çünkü ahlak bize yanlış yapmamayı öğretir.” (K41)

“Bilişim etiği dürüstlük gibidir, çünkü dürüst insan her zaman doğruyu öğretir.” (E37)

Buna göre öğrenciler bilişim etiğinin “yarar sağlayıcı” özelliklerini “faydalı” ve “öğretici” temalarına yüklenen “şemsiye, çatı, sığınak, oksijen, su, ilaç, öğretmen, ahlak, dürüstlük” metaforlarıyla nitelmişlerdir. Bilişim teknolojilerine hızlı bir geçişin yaşandığı günümüz bilgi çağında bilişim etiği insan davranışlarını inceleyen önemli bir uygulama alanı haline gelmiştir (Fidan, 2016). Öğrencilerin pandemiyle birlikte daha çok bilişim teknolojileri araçlarını kullanıyor olmaları bilişim etiğinin yarar sağlayıcı özelliklerini anlamada karşılık bulduğu söylenebilir. Öğrencilerin bilişim etiğinin faydalı ve öğretici yönlerini çoğu durumda vazgeçemeyeceğimiz kadar önemli olan kavram ve olgularla açıklamaya çalıştıkları görülmektedir. Öğrencilerin attettikleri bu metaforların bilişim teknolojilerinin etik kullanılmasına yönelik Bilgisayar Etik Enstitüsü (BEE) tarafından belirlenen ilkelere biri olan

“Bir bilgisayarı daima diğer insanları düşünerek ve onlara saygı göstererek kullanın” (Aktaran: Fidan, 2016) ilkesi ile örtüşmektedir. Bu bağlamda her geçen gün farklı bir uygulamayla hayatımıza giren bilişim teknolojilerinin, insanların zarar görmek yerine bilişim etiğinin yarar sağlayıcı özelliklerine dikkat çekilerek (Kılıçer, 2013; Ogunlere ve Adebayo, 2015) bu yönde politikalar geliştirilebilir.

Olumsuz Metaforlar

Olumsuz metaforlar toplam üç kategori ve bu kategoriler altında yer alan toplam altı temadan oluşmaktadır. “Belirsiz” kategorisinde “değişken” (%5,8) ve “anlaşılması güç” (%5,8) temaları; “zorunlu” kategorisinde “vazgeçilmez (%4,7) ve “olmazsa olmaz” (%5,8) temaları; “sınırlayıcı” kategorisinde “kısıtlayıcı” (%5,8) ve “eksik” (%3,5) temaları ortaya çıkmıştır. Her bir kategoriye ilişkin tema ve metaforlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Olumsuz metaforlara ilişkin tema ve kategoriler

Kategori	Tema	f	%	Metaforlar
Belirsiz	Değişken	5	5,8	Su, düşünce, kültür, hobi, çocuk
	Anlaşılması güç	5	5,8	Titanik, kafa dağı, buz dağı
Zorunlu	Vazgeçilmez	4	4,7	Arkadaş, maske, acı biber
	Olmazsa Olmaz	5	5,8	Karanlık, hastalık, zaman
Sınırlayıcı	Kısıtlayıcı	5	5,8	Pranga, askerlik, pandemi
	Eksik	3	3,5	Töre, dogma, maske

Öğrencilerin bilişim etiğine yönelik 19 farklı olumsuz metafor ürettikleri belirlenmiştir. Öğrencilerin bilişim etiğine ilişkin ürettikleri metaforlara ait kavram bulutu Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Bilişim etiği kavramına ilişkin olumsuz metaforlar: Kavram bulutu

Olumsuz metaforlara ilişkin kategori ve temalara ait açıklamalar ve öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıda sunulmuştur.

“Belirsiz” Kategorisi

Bu kategori altında ortaya çıkan metaforlar “değişken” ve “anlaşılması güç” temalarıyla ilişkilendirilmiştir. “Değişken” temasına ilişkin 8 öğrenci (%3,21) “su, düşünce, kültür, hobi, çocuk” metaforlarını; “Anlaşılması güç” temasına ilişkin ise 8 öğrenci (%3,21) “titanik, kafdağı, buz dağı” metaforlarını kullanmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıdaki gibidir:

“Bilişim etiği su gibidir, çünkü her kaba göre farklı şekil alır.” (E64)

“Bilişim etiği düşünce gibidir, çünkü herkesin düşüncesi farklıdır.” (E5)

“Bilişim etiği kültür gibidir, çünkü toplumdan topluma göre değişir.” (K71)

“Bilişim etiği hobi gibidir, çünkü kişiye göre değişir.” (K14)

“Bilişim etiği çocuk gibidir, çünkü her çocuk farklıdır ayrı bir dünyadır.” (K12)

“Bilişim etiği titanik gibidir, çünkü ne zaman batacağı kestirilemez.” (E2)

“Bilişim etiği kafdağı gibidir, çünkü nerede olduğu bilinmez (E75)

“Bilişim etiği buz dağı gibidir, çünkü buzdağının bir de görünmeyen yüzü vardır.” (K25)

Öğrenciler bilişim etiğinin “belirsiz” özelliklerini “değişken” ve “anlaşılması güç” temalarına yüklenen “su, düşünce, kültür, hobi, çocuk, titanik, kafdağı, buz dağı” metaforlarıyla nitelmişlerdir. Bilindiği üzere bireylerin yetiştiği sosyo-kültürel çevre ve sosyal normlar etik veya etik olmayan davranışlar üzerinde etkili olabilmektedir (Thorne ve Saunders, 2002). Bir kültürlerde etik olan normlar başka bir kültürde etik olarak anlaşılabilir. Bu bağlamda öğrenciler kişilere göre farklılık gösteren ve yeterince anlaşılabilen bilişim etiği normlarını “değişken” ve “anlaşılması güç” temalarına yüklenen metaforlarla açıklamıştır. Bu kapsamda herkes tarafından aynı şekilde anlaşılabilen, uygulanabilir nitelikte ilke ve normların sağlanması bilişim etiğinin sürdürülebilir olması açısından önemlidir (Kılıçer ve Odabaşı, 2006; Ozan ve ark., 2014). Uygulanabilir nitelikteki ilke ve normları benimsemiş bir nesil ilerleyen zamanlarda tehlikeli olabilecek davranışlardan da sakınır. Bu çerçevede herkes tarafından aynı şekilde anlaşılabilen, uygulanabilir nitelikte ilke ve normlar siber suçlar gibi son derece tehlikeli kriminal olaylara da set çekebilir.

“Zorunlu” Kategorisi

Bu kategori altında ortaya çıkan metaforlar “vazgeçilmez” ve “olmazsa olmaz” temalarıyla ilişkilendirilmiştir. “Vazgeçilmez” temasına ilişkin 8 öğrenci (%3,21) “arkadaş, maske, acı biber” metaforlarını; “olmazsa olmaz” temasına ilişkin ise 8 öğrenci (%3,21) “karanlık, hastalık, zaman” metaforlarını kullanmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıdaki gibidir:

“Bilişim etiği arkadaş gibidir, çünkü sevseniz de sevmesiniz de vazgeçemezsiniz.” (K34)

“Bilişim etiği maske gibidir, çünkü virüsten korunmak için vazgeçilmezdir.” (E44)

“Bilişim etiği acı biber gibidir, çünkü canınızı yaksa bile bırakamazsınız.” (K45)

“Bilişim etiği karanlık gibidir, çünkü karanlık olmadan aydınlık olmaz.” (E58)

“Bilişim etiği hastalık gibidir, çünkü hastalık olmazsa olmazdır. (E67)

“Bilişim etiği zaman gibidir, çünkü öyle ya da böyle geçecek.” (K51)

Öğrenciler bilişim etiğinin “zorunlu” özelliklerini “vazgeçilmez” ve “olmazsa olmaz” temalarına yüklenen “arkadaş, maske, acı biber, karanlık, hastalık, zaman” metaforlarıyla nitelemişlerdir. Öğrenciler oluşturdukları bu metaforlar üzerinden bilişim etiğinin olumsuz dışsal motivasyon özelliklerine vurgu yapmışlardır. Bilindiği üzere dışsal motivasyon, davranışın bir sonuç için gerçekleştirildiği motivasyon çeşididir (Deci ve Ryan, 2000). Öğrenciler bilişim etiğinin bağlayıcı ve zorlayıcı özelliklerini ön plana çıkarırken kullanıcı dolaşımını güvence altına alan özelliklerine de atıfta bulunmuşlardır. Bu durum ilgili literatür tarafından da desteklenmektedir. İlgili literatür incelendiğinde sahip olduğu ilke ve kurallar yoluyla bilişim alanında hizmet alan/veren bireylerin davranışlarını incelemek, yaşanan sorunlara çözüm bulmak ve bu alandaki kullanımlarını güvence altına almak için bilişim etiğine ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (McCarthy ve ark., 2005; Peslak, 2006; Fidan, 2016). Bu bağlamda bilişim etiği normlarının bağlayıcı ve zorlayıcı olarak algılanan özelliklerine yönelik öğrenci kaygılarının giderilmesi, bilişim etiği farkındalığı konusunda sağlanacak farklı yöntem ve içerikler olumsuz dışsal motivasyonu azaltabilir. Nitekim Arıkan ve Duymaz’ın (2015) yaptığı yarı deneysel çalışmada öğrencilere yönelik bilişim etiği öğretim programının öğrencilerin bilişim teknolojilerinin etik kullanımına yönelik tutumlarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

“Sınırlayıcı” Kategorisi

Bu kategori altında ortaya çıkan metaforlar “kısıtlayıcı” ve “eksik” temalarıyla ilişkilendirilmiştir. “kısıtlayıcı” temasına ilişkin 8 öğrenci (%3,21) “pranga, askerlik, pandemi” metaforlarını; “eksik” temasına ilişkin ise 8 öğrenci (%3,21) “töre, dogma, maske” metaforlarını kullanmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlara ait bazı örnek cümleler aşağıdaki gibidir:

“Bilişim etiği pranga gibidir, çünkü hareket alnınız pranganın zinciri ile sınırlıdır.” (E15)

“Bilişim etiği askerlik gibidir, çünkü keskin sınırları vardır.” (K63)

“Bilişim etiği pandemi gibidir, çünkü her şey yasak.” (E31)

“Bilişim etiği töre gibidir, çünkü yereldir evrensel değildir.” (K57)

“Bilişim etiği dogma gibidir, çünkü kanun değildir.” (E48)

“Bilişim etiği maske gibidir, çünkü virüsten korunmak için yeterli değildir .” (E5)

Öğrenciler bilişim etiğinin “sınırlayıcı” özelliklerini “kısıtlayıcı” ve “eksik” temalarına yüklenen “pranga, askerlik, pandemi, töre, dogma, maske” metaforlarıyla nitelemişlerdir. Öğrenciler oluşturdukları bu metaforlar üzerinden bilişim etiğinin kısıtlayıcı ve eksik yönlerine vurgu

yapmışlardır. Bilişim etiğini sınırlayıcı bir unsur olarak değerlendiren öğrenciler pandemiden dolayı yaşanan tecrit sürecini bilişim etiğine bağlamış olabilir. Çünkü bilişim teknolojileri araçlarını yoğun bir biçimde kullanan öğrencilerin kısıtlamaların olmadığı ve kendilerini özgürce hissettikleri tek alan olan bilişim teknolojileri alanındaki olası bir sınırlama endişesi öğrencileri bu şekilde düşünmeye sevk olmuş olabilir. Nitekim Bozkurt (2020) tarafından koronavirüs (covid-19) pandemisi sırasında öğrencilerin uzaktan eğitime yönelik imge ve algılarının incelendiği çalışmada da benzer şekilde yaşanan tecrit sürecinin uzaktan eğitime bağlandığı görülmüştür. Bu çerçevede bilişim etiği farkındalığı konusunda öğretmen ve akademisyenlerin rehberlik rolünü daha fazla üstlenmeleri yönünde çalışmalar yapılabilir. Bilişim etiğini “eksik” olarak niteleyen öğrencilerin bilişim etiği ilke ve normlarından haberdar oldukları ancak bunu yeterli görmedikleri anlaşılmaktadır. Bilişim etiği farkındalığını artırmaya yönelik teorik ilke ve kuralların güncel hayattaki sorunlara referans yapıldığı, bireylerin sıklıkla karşılaştıkları örnekler ile desteklendiği yeni müfredatlar oluşturulabilir.

Sonuç ve Öneriler

Zorunlu uzaktan eğitim kapsamında (Covid-19 Pandemisi) çevrimiçi ortamlarda öğrenim gören üniversite öğrencilerinin bilişim etiğine yükledikleri metaforik imge ve algılarının incelendiği bu çalışma nitel olgubilim (fenomenoloji) çalışması kapsamında metafor analiziyle incelenmiştir.

Buna göre olumlu grupta yer alan tamamlayıcı kategorisinde yol gösterici ve sorun çözücü temaları ortaya çıkmış; bilişim etiğinin sahip olduğu ilke ve kuralların yol gösterici rolü, fikri mülkiyet, doğruluk, gizlilik ve erişim gibi etik problemlerdeki sorun çözücü rolüne dikkat çekilmiştir. Destekleyici kategorisinde kolaylaştırıcı ve önleyici temaları ortaya çıkmış; bu durum kullanıcıların en az zarar ve maksimum fayda ile bilişim teknolojileri kullanımını güvence altına aldığını ortaya koymuştur. Düzenleyici kategorisinde ortaya çıkan dengeleyici teması, bilişim etiğinin bireysel ve toplumsal düzenlemelere yol gösterecek denge unsurları olarak algılandığını göstermektedir. Motive edici kategorisindeki içsel ve dışsal temalar ise başkalarının haklarına saygı gösterme sorumluluğu, bireylerin iyelik hakları ve bunların doğuracağı sonuçlar konusunda motivasyon stratejilerinin önemini ortaya koymaktadır. Son olarak yarar sağlayıcı kategorisi altında ortaya çıkan faydalı ve öğretici temaları; öğrencilerin pandemiyle birlikte artan bilişim teknolojileri kullanımlarının bilişim etiğinin yarar sağlayıcı özelliklerini anlamada karşılık bulduğunu göstermektedir.

Olumsuz metafor grubunda yer alan belirsiz kategorisinde değişken ve anlaşılması güç temaları ortaya çıkmış; kişilere göre farklılık gösteren ve yeterince anlaşılabilen bilişim etiği normlarının herkes tarafından aynı şekilde anlaşılabilen, uygulanabilir ve sürdürülebilir olmasının önemine dikkat çekilmiştir. Bu kategoride ortaya çıkan temalar olumlu metaforlarda ortaya çıkan tamamlayıcı kategorisinde yer alan temalar ile ilişkilidir. Buna göre bilişim etiği normlarının herkes tarafından aynı şekilde anlaşılabilir, uygulanabilir ve sürdürülebilir olmasının fikri mülkiyet, doğruluk, gizlilik ve

erişim gibi etik problemlerdeki sorun çözme başarısı için kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Zorunlu kategorisinde vazgeçilmez ve olmazsa olmaz temaları ortaya çıkmış; bilişim etiği normlarının bağlayıcı ve zorlayıcı olarak algılanan özelliklerine yönelik öğrenci kaygılarının giderilmesi bağlamında önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sınırlayıcı kategorisinde yer alan kısıtlayıcı ve eksik temaları, öğrencilerin bilişim teknolojileri alanındaki olası sınırlama endişesini ve bilişim etiği ilke ve normlarının yeterli olmadığı vurgusunu ön plana çıkarmaktadır. Bu kategoride ortaya çıkan temalar olumlu metaforlarda ortaya çıkan motive edici kategorisinde yer alan temalar ile ilişkilidir. Buna göre bilişim teknolojileri alanındaki olası kısıtlama endişesi ve bilişim etiği ilke ve normlarının yeterli olmadığı algısı motivasyon stratejilerinin önemini ortaya koymaktadır.

Bu çerçevede bilişim teknolojileri alanındaki bilişim etiği çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Mevcut çalışma bulguları ve literatürdeki çalışmaların ışığında ileride yapılacak araştırmalara kaynaklık etmesi açısından bir dizi öneriler olarak şunlar tavsiye edilebilir:

- a. Bilişim etiğinin bireylerin bilişim teknolojileri araçlarını kullanırken uyması gereken kuralları tanımlaması ve kullanıcıların en az zarar ile dijital ortamlardan yararlanması için tamamlayıcı politikalar kapsamında teorik eğitimlerden çok pratik ve güncel hayattaki sorunlara referans yapılacak farkındalık etkinlikleri yapılabilir.
- b. Günümüz bilgi ve iletişim teknolojisinde yaşanan hızlı gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda üniversite kademesindeki öğrencilerin bilgisayar ve internet ihtiyaçları bilişim etiği açısından bir gereksinim olarak değerlendirilebilir. Çünkü bu teknolojilere sahip bireylerin etik davranışları sergilemede daha titiz davrandıkları bilinmektedir.
- c. Bilişim teknolojilerini kullanırken hangi eylemlerimizin ne tür sonuçlar ortaya çıkaracağı ve bu sonuçlardan hangilerinin iyi ya da kötü olacağı konusunda her birey tarafından kolaylıkla anlaşılabilen açık ve net bir içeriğe sahip kılavuz kitapçıkları hazırlanabilir. Bu yolla siber suçlar gibi son derece tehlikeli kriminal olaylara da set çekebilir.
- d. Her ne kadar bilişim etiğine ilişkin ilke ve kurallar olsa da bireylerin bunları benimsemesi ve davranışa dönüştürebilmesi için bilişim etiği bilincinin aşılması gerekir. Bu bağlamda bilişim etiğinin motive edici dinamikleri dikkate alınarak yeni içerikler hazırlanabilir bu yolla öğrencilerin bilişim teknolojileri etik kullanımları sağlanabilir.
- e. Bilişim teknolojileri alanında insanların zarar görme korkusu yerine bilişim etiğinin yarar sağlayıcı özelliklerine dikkat çekecek politikalar geliştirilebilir.
- f. Bilişim etiği normlarının bağlayıcı ve zorlayıcı olarak algılanan özelliklerine yönelik öğrenci kaygılarının giderilmesi için bilişim etiği farkındalığı konusunda farklı yöntem ve içerikler geliştirilebilir.
- g. Bilişim etiği farkındalığı konusunda öğretmen ve akademisyenlerin rehberlik ve rol model olma noktasında daha fazla sorumluluk üstlenmeleri yönünde çalışmalar yapılabilir.

- h. Bilişim etiğine ilişkin karşılaşılan problemlere yönelik bilişim teknolojinin etkin ve verimli kullanımını geliştirilecek denetim ve önleme stratejilerinden faydalanabilir.

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

- Akbulut Y., Uysal Ö., Odabasi HF., Kuzu A. Influence of gender, program of study and PC experience on unethical computer using behaviors of Turkish undergraduate students. *Computers ve Education* 2008; 51(2): 485-492.
- Aksal FA. Bilgisayar teknolojilerinin kullanımında etik ve karşılaşılan sorunlar. *Eğitim Teknolojileri Araştırma Dergisi* 2011; 2(3): 33-46.
- Arıkan YD., Duymaz SH. Bilişim etiği öğretimi uygulaması. *İlköğretim Online* 2015; 14(1): 188-199.
- Arıkan YD., Duymaz SH. Practice of information technology ethics education. *Elementary Education Online* 2015; 14(1): 188-199.
- Arslan K. Eğitimde yapay zekâ ve uygulamaları. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi* 2020; 11(1): 71-88.
- Baş T., Akturan U. Nitel araştırma yöntemleri. Ankara: Seçkin Yayıncılık 2013.
- Baz FÇ. Fatih projesi üzerine bir içerik analizi çalışması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 2017; 7(2/1): 93-103.
- Beyhan Ö., Tunç HS. Öğretmen aday öğrencilerin bilişim teknolojilerini etik kullanımlarının incelenmesi. *Yükseköğretim Dergisi* 2012; 2(2): 85-94.
- Bozkurt A. Koronavirüs (Covid-19) pandemisi sırasında ilköğretim öğrencilerinin uzaktan eğitime yönelik imge ve algıları: Bir metafor analizi. *Uşak Üniversitesi Eğitim Araştırmaları Dergisi* 2020; 6(2): 1-23.
- Bozok Z., Geniş E., Avcu YE. Özel yetenekli öğrencilerde bilişim etiği öğretimine yönelik bir dijital oyun geliştirilmesi ve uygulanması. *Uluslararası Eğitim Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 6(1): 36-54.
- Brey P. Disclosive computer ethics. *ACM Sigcas Computers and Society* 2000; 30(4): 10-16.
- Burton E., Goldsmith J., Mattei N. How to teach computer ethics through science fiction. *Communications of the ACM* 2018; 61(8): 54-64.
- Bynum TW. Computer ethics: Its birth and its future. *Ethics and Information Technology* 2001; 3(2): 109-112.

- Cerrah İ. Bilişim teknolojileri ve etik: Bilişim teknolojilerinin güvenlik hizmetlerinde kullanımının etik boyutu” ve sosyal sonuçları. *Polis Bilimleri Dergisi* 2002; 4(1-2): 137-155.
- Chang CLH. The effect of an information ethics course on the information ethics values of students—A Chinese guanxi culture perspective. *Computers in Human Behavior* 2011; 27(5): 2028-2038.
- Çelik B., Gündoğdu K. Bilişim etiği değerlerine yönelik tutum ölçeğinin geliştirilmesi. *Ege Eğitim Dergisi* 2019; 20(2): 335-350.
- Deci EL., Ryan RM. The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry* 2000; 11(4): 227-268.
- Dennett DC. When HAL kills, who's to blame?: computer ethics. When HAL kills, who's to blame?: computer ethics 2014; 203-214.
- Elçiçek M. An investigation into the technology integration levels of pre-service teachers in compulsory distance education (COVID-19 Pandemic). *International Online Journal of Education and Teaching* 2021a; 8(3): 2060-2080.
- Elçiçek M. Tendencies in Turkey-based academic studies on distance education during the covid-19 pandemic. *Journal of Educational Technology and Online Learning* 2021b; 4(3): 406-417.
- Elçiçek M., Erdemci H. Investigation of 21st-century competencies and E-learning readiness of higher education students on the verge of digital transformation. *Journal of Computer and Education Research* 2021; 9(17): 80-101.
- Elçiçek M., Karal H. Mobil öğrenmeye ne kadar hazırız? Öğretmen adayları perspektifinden bir inceleme. *Journal of Instructional Technologies and Teacher Education* 2019; 8(1): 1-9.
- Erişti B., Küçüker GF. Neden-sonuç modeline dayalı öğretimin ilköğretim öğrencilerinin bilişim etiği ile ilgili davranışlarına etkisi. *Journal of Educational Sciences ve Practices* 2011; 10(19): 25-47.
- Fidan M. Bilişim etiği boyutlarına göre bilişim teknolojileri ve yazılım dersi öğretim programı kazanımlarının incelenmesi. *Kastamonu Eğitim Dergisi* 2016; 24(4): 1641-1654.
- Karalı Y., Palancıoğlu ÖV., Aydemir, H. Türkiye ve Singapur ilköğretim fen bilimleri öğretim programlarının karşılaştırılması. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 2021; 22(1): 866-888.
- Kılıçer K. Teknopedagojik eğitim ve etik. I. Kabakçı Yurdakul (Ed.), *Teknopedagojik eğitime dayalı öğretim teknolojileri ve materyal tasarımı içinde* (ss.95-127). Ankara: Anı yayıncılık 2013.
- Kılıçer K., Odabaşı HF. Bilgisayar öğretmenliği: Etik bunun neresinde?. 6.Uluslararası Eğitim Teknolojileri Konferansı'nda sunulan bildiri. Yakındoğu Üniversitesi, KKTC, 2006.
- Kuleto V., Ilić M., Dumangiu M., Ranković M., Martins O., Păun D., Mihoreanu L. Exploring opportunities and challenges of artificial intelligence and machine learning in higher education institutions. *Sustainability* 2021; 13(18): 10424.
- Leymun ŞO., Odabaşı HF. Bilişim etiğinin tarihçesi. H. F. Odabaşı ve Ş. O. Leymun (Eds), *Bilişim etiği ve güvenliği içinde* (ss.55-64). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık 2019.

- Mamat N., Baqutayan SM. Differential perspectives of cyberloafing activities about computer ethics among employee. *Journal of Science, Technology and Innovation Policy* 2019; 5(1): 22-33.
- McCarthy RV., Halawi L., Aronson JE. Information technology ethics: a research framework. *Issues in Information Systems* 2005; 6(2): 64-69.
- Merriam SB., Tisdell EJ. *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). San Francisco, CA: Wiley ve Sons 2015.
- Miles MB., Huberman AM. *Qualitative data analysis* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage 1994.
- Ogunlere SO., Adebayo AO. Ethical issues in computing sciences. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2015; 2(7): 10-16.
- Oyewole O. Awareness and perception of computer ethics by undergraduates of a Nigerian University. *Journal of Information Science Theory and Practice* 2017; 5(4): 68-80.
- Ozan Ş., Kurt AA., Odabaşı HF. Mason'un bilişim etiği boyutları altında vikipedi'nin incelenmesi. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry* 2014; 5(3): 62-75.
- Paksoy M. Ortaokul öğrencilerinin performans görevlerinde bilişim etik kurallarına uyma durumları, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 2015.
- Parsons SC., Brown PU., Worley VA metaphor analysis of preservice teachers'reflective writings about diversity. *Curriculum ve Teaching Dialogue* 2004, 6(1): 49-58.
- Peslak AR. An exploratory investigation of information technology ethics factors. *Issues in Information Systems* 2006; 7(2): 339-343.
- Roeser RW., Peck SC. An education in awareness: Self, motivation, and self-regulated learning in contemplative perspective. *Educational psychologist* 2009; 44(2): 119-136.
- Saban A. Öğretmen adaylarının öğrenci kavramına ilişkin sahip oldukları zihinsel imgeler. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi* 2009; 7(2): 281-326.
- Sezgin S. Eğitimde giyilebilir teknolojiler: fırsatlar ve eğilimler. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 2019; 1(40).
- Subbian V., Solomonides A., Clarkson M., Rahimzadeh VN., Petersen, C., Schreiber R., Senathirajah Y. Ethics and informatics in the age of COVID-19: challenges and recommendations for public health organization and public policy. *Journal of the American Medical Informatics Association* 2021; 28(1): 184-189.
- Şeyda KIR. Dijital dönüşüm sürecinde yükseköğretim kurumları ve öğretim elemanlarının gelişen rolleri. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi* 2020; 6(3): 143-163.
- Teoli D., Ghassemzadeh S. Informatics ethics. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing 2019.
- Thorne L., Saunders SB. The socio-cultural embeddedness of individuals' ethical reasoning in organizations (cross-cultural ethics). *Journal of Business Ethics* 2002; 35(1): 1-14.
- Ucar H., Kumtepe AT. Effects of the ARCS-V-based motivational strategies on online learners' academic performance, motivation, volition, and course interest. *Journal of Computer Assisted Learning* 2020; 36(3): 335-349.

Yıldırım A., Şimşek H. Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. (9. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık 2013.

Elektrik İhtiyacının Karşılmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi-Süpermarket Örneği

Melike YALILI KILIÇ^{1*}, Sümeyye ADALI²

^{1,2}Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0001-7050-6742>

²<https://orcid.org/0000-0002-5077-7358>

*Sorumlu yazar: myalili@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 22.09.2021

Kabul tarihi:29.12.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Enerji ihtiyacı
HOMER Pro
Optimizasyon
Yenilenebilir enerji

Dünya genelinde teknoloji ve gelişmişlik düzeyinin artışına paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması noktasında geleneksel enerji kaynaklarının yetersiz durumda olması ve bu kaynakların barındırdığı dezavantajlar, temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmayı gündeme getirmiştir. Sanayi ve ticari faaliyetlerde enerji tüketiminin yüksek değerlerde meydana gelmesi nedeniyle, bu işletmelerde yenilenebilir enerji kullanımı enerji maliyetlerinin düşürülmesi noktasında önemli faydalar barındırmaktadır. Bu çalışmada Bursa ili Nilüfer ilçesinde yer alan bir süpermarketin 2020 yılı elektrik tüketim değerleri baz alınarak HOMER Pro programı kullanılarak rüzgar-güneş- şebeke hibrit enerji sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Enerji sisteminin maliyeti 2.760.314,5 \$, sistemin kWh başına elektrik tüketim değeri 0,041 \$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık enerji maliyetinden sağlanacak 74.254,3 \$ tasarrufla yenilenebilir enerji maliyetlerinin kendisini 18 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir.

Hybrid Renewable Energy System in Providing Electricity Need-Supermarket Example

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 22.09.2021

Accepted: 29.12.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Energy demand
Homer Pro
Optimization
Renewable energy

The inadequacy of traditional energy sources and the disadvantages of these sources in meeting the increasing energy needs in parallel with the increase in technology and development level throughout the world have brought up the use of clean and environmentally friendly renewable energy sources. Since energy consumption occurs at high values in industrial and commercial activities, the use of renewable energy in these enterprises has significant benefits in terms of reducing energy costs. In this study, a wind-solar-grid hybrid energy system was designed using the HOMER Pro program, based on the electricity consumption values of a supermarket located in Nilüfer district of Bursa province, in 2020. The cost of the energy system was calculated as \$2,760,314.5, and the electricity consumption value per kWh of the system was calculated as \$0.041. It has been determined that renewable energy costs can pay for themselves in 18 years, with a saving of \$74,254.3 from the annual energy cost.

To Cite: Kılıç MY., Adalı S. Elektrik İhtiyacının Karşılmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi-Süpermarket Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):224-235.

Giriş

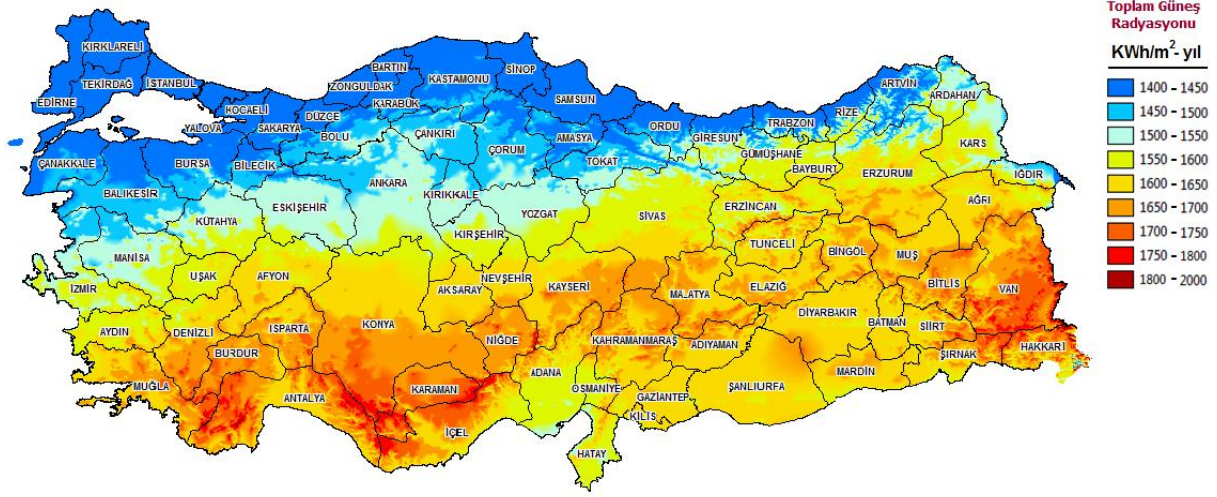
Küresel ölçekte enerji ihtiyacının her yıl yaklaşık %4-5 oranında artış göstermesi, enerji kaynağı olarak yoğun şekilde kullanılan fosil yakıtların arz durumunun değişimi ve bu yakıtların çevre üzerinde oluşturduğu zararlar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep günden güne artış göstermektedir (Gül ve İzgi, 2018). Başlıca yenilenebilir kaynaklar arasında yer alan hidroelektrik,

jeotermal, rüzgâr, biyokütle, dalga ve güneş enerjisi küresel ölçekte önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde yer alan güneş enerjisi, yeryüzünün en büyük ve en önemli enerji kaynağı konumunda olup, bu enerji türü fotovoltaik modüller aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüşümü nedeniyle elektrik üretiminde yoğun olarak kullanılmaktadır (Coşgun, 2021; Gümüş ve Demirtaş, 2021). Tablo 1’de ülkelere ait 2020 yılı güneş enerji santralleri kurulu güçleri yer almaktadır.

Tablo 1. Ünelere ait 2020 yılı güneş enerji santralleri kurulu güçleri (URL-1, 2021)

Ülke	Kurulu Güç (MW)
Çin	254,355
ABD	75,572
Japonya	67,000
Almanya	53,783
Hindistan	39,211
Güney Kore	14,575
İspanya	14,089
Fransa	11,733
Türkiye	6,667
Güney Afrika	5,990
Rusya	1,428

Tablo 1 incelendiğinde, güneş enerjisi üretiminde Çin, ABD ve Japonya’nın önde geldiği görülmektedir. Bir bölgenin güneş enerji potansiyeli güneşlenme süresi ve güneş radyasyon değeriyle yakından ilişkilidir (Yıldırım ve Aktacir, 2021). Güneş enerjisini kullanan ülkelerin bazıları güneş ışınları potansiyeli bakımından, bazılarıysa sahip oldukları teknolojiden dolayı avantaj barındırmaktadır. Ülkemiz sahip olduğu güneş enerji potansiyeliyle birçok ülkeden daha avantajlı durumdadır. Fakat enerji kullanımı açısından yeterli başarının sağlanamadığı görülmektedir. Ülkemizdeki enerji kurulu gücün yaklaşık %1’i güneş enerjisinden elde edilmektedir. Ülkemizde 2010 yılından önce güneş enerji sistemleri genellikle termal amaçlı olarak kullanılırken, 2010 yılından beri elektrik üretimi amacıyla yapılan çalışmalarda artış gözlenmektedir (Demiryürek ve ark., 2020). Şekil 1’de Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası yer almaktadır.



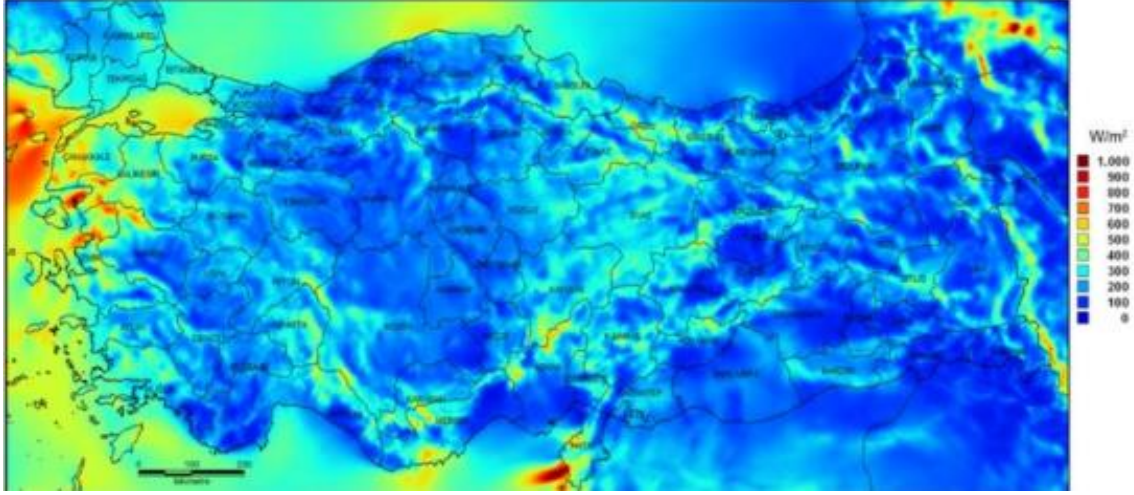
Şekil 1. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (Anonim, 2021a)

Şekil 1 incelendiğinde, ülkemizin bulunduğu coğrafi konumunun güneş enerjisinden faydalanma noktasında büyük bir potansiyel barındırdığı görülmektedir. Bu potansiyelden maksimum ölçüde yararlanmak için güneş enerjisi kurulu gücünün artırılması önem arz etmektedir.

Güneş ışığının gün içerisinde sürekliliğinin olmaması, güneş panellerinden elde edilen enerji veriminin %20-25 civarında olması bu enerji türünün depolanması ya da diğer yenilenebilir enerji türleriyle birlikte kullanılmasını gündeme getirmiş olup, kırsal bölgelerde ve şebekelerde hibrit enerji kullanım talebi artarak devam etmiştir (Bilen ve ark., 2021; Gümüş ve Demirtaş, 2021). Hibrit enerji sistemleri iki ya da daha fazla enerji kaynağının bir arada verimli şekillerde kullanımı ile uygun özellikte ve miktarda enerji eldesini mümkün kılmaktadır. Bu sistemler şebekeli veya şebekesiz olarak kullanılabilen olup, şebekesiz sistemlerin temelini dizel jeneratörler oluşturmaktadır. Şebekesiz sistemlerde yakıt maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma oranının artırılması gerekmektedir. Hibrit sistemlerin performansı çevresel koşullara bağlıdır. Bu nedenle çevresel koşulların analiz edilmesi gerekmektedir. Güneş ve rüzgâr enerjisi hibrit sistem kurulumlarında ilk sırada yer almakta olup, bu enerji türlerinin dünya genelinde kullanım oranları iklim koşullarına bağlı olarak değişim göstermesine rağmen günden güne artış göstermektedir (Öztürk ve ark., 2019).

Güneş enerjisiyle birlikte önemli bir kullanım alanı bulan rüzgâr enerjisi, güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu, kapasite faktörlerinin düşüklüğü ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları olmasına rağmen, tükenme riskinin olmaması, bakım ve işletme maliyetinin düşüklüğü, nispeten basit bir teknolojiye sahip olması, temiz ve çevre dostu enerji kaynağı olması gibi birçok avantaj barındırmaktadır. Ülkemizde yer seviyesinden 50 metre yüksekte ve 7,5 m/s üstü rüzgâr hızlarına sahip bölgelerde km² başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabulüyle rüzgâr enerjisi potansiyeli 48,000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyelle karşılık gelen toplam alan ülke yüz

ölçümünün yaklaşık %1,30'u civarındadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Şekil 2'de Türkiye rüzgar güç yoğunluğu haritası yer almaktadır.



Şekil 2. Türkiye rüzgar güç yoğunluğu haritası (50 m) (Yakşı, 2018)

Şekil 2 incelendiğinde, ülkemizde rüzgar enerjisinden denize kıyısı olan bölgelerde daha fazla yararlanma imkanının olduğu görülmektedir. Bu durum özellikle açık deniz rüzgar santrallerinden enerji eldesi konusunda yapılacak çalışmaların yüksek verim sağlayacağını göstermektedir.

Tablo 2'de ülkelere göre 2020 yılı rüzgar santrali kurulu güçleri yer almaktadır.

Tablo 2. Ünelere göre 2020 yılı rüzgar santrali kurulu güçleri (URL-2, 2021)

Ülke	Kurulu Güç (MW)
Çin	281,993
ABD	117,744
Almanya	62,184
Hindistan	38,559
İspanya	27,089
Fransa	17,382
Brezilya	17,198
Kanada	13,577
İtalya	10,839
Türkiye	8,832
Hollanda	6,600
Polonya	6,267

Tablo 2 incelendiğinde, güneş enerjisinde olduğu gibi rüzgar enerjisi kurulu güç sıralamasında Çin'in lider ülke olduğu görülmektedir. Çin'i sırasıyla ABD ve Almanya izlemektedir. Ülkemiz rüzgar enerji santrali kurulu gücünde Avrupa'da 7., dünyada ise 13. sırada yer almaktadır (URL-2, 2021). Rüzgar enerjisinin elektrik enerjisi üretiminde kullanımı son yıllarda hızlı bir şekilde gelişim göstermiş olup,

yatırım maliyetleri açısından kömür santralleri ile rekabet edebilecek düzeye ulaşmıştır (IRENA, 2018; Öztürk, 2020).

Yenilenebilir enerji sistem tasarımlarının teknik ve ekonomik açıdan analizi ve optimizasyonu, kurulması planlanan mikro şebekelerden en yüksek derecede fayda sağlanması açısından önem taşımaktadır (Çetinbaş ve ark., 2019).

Literatürde farklı alanlarda farklı kullanım amaçları doğrultusunda elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması amacıyla HOMER programı kullanılarak yenilenebilir enerji sistemi tasarımının yapıldığı birçok çalışma mevcuttur. Özcan (2009) tarafından bir bölgede kullanılan belirli bir elektrik yükünü ekonomik açıdan optimum düzeyde besleyebilecek bir sistem konfigürasyonu oluşturabilmek için şebekeye bağlı rüzgar ve güneş tabanlı hibrit bir enerji sistemi HOMER ile modellenerek sistemin simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, şebekeye elektrik sağlamayacak rüzgar türbini ve şebekeli bir sistemin ekonomik olarak optimum olabilmesi için rüzgar hızının en az 7,34 m/s, şebekeye elektrik sağlayabilecek rüzgar türbini ve şebekeli bir sistemin ekonomik olarak optimum olabilmesi için rüzgar hızının en az 6,75 m/s olmasının gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesi Merkezi Derslik 2'nin elektrik ihtiyacının minimum %90 oranında yenilenebilir kaynaklardan karşılayabilecek enerji ve güç üretim sisteminin tasarlandığı çalışmada biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisi kullanılarak oluşturulan çeşitli hibrit sistemler arasında optimum hibrit sistem konfigürasyonunun elde edilmesi amacıyla HOMER programı kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmıştır (Dursun, 2016).

Gül ve İzgi (2018), Yalova ilinde kurulacak bir sanayi tesisi için oluşturulacak alçak gerilim panosu ve hibrit sistem konfigürasyonunun belirlenmesi amacıyla pano ve rüzgar-güneş enerji sistemlerinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Sanayi tesisinin akıllı pano maliyeti 75,130 €, rüzgar-güneş enerji sistemine bağlı akıllı panoya sahip sanayi tesisinin toplam maliyeti yaklaşık 12.053.467 \$, aynı tesisinin konvansiyonel pano maliyeti ise 40.705 € olarak hesaplanmış olup, rüzgar-güneş enerji sistemine bağlı konvansiyonel panoya sahip sanayi tesisinin toplam maliyeti yaklaşık 9.509.164 \$ olarak belirlenmiştir.

Çağlayan (2019) bir sera işletmesinin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla şebeke, rüzgâr, fotovoltaik ve jeneratör sistemlerinin analizinde HOMER Pro programı yardımıyla modelleme ve bilgisayar benzetimleri yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar neticesinde fotovoltaik ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin maliyetleri sırasıyla 0,084 \$/kW ve 0,059 \$/kW olarak bulunmuştur. Yıllık enerji üretiminde rüzgâr enerjisinin fotovoltaik enerjiden 3,1 kat daha yüksek enerji üretebileceği belirlenmiştir. İşletme için en uygun sistemin rüzgâr enerjisinden oluşacağı öngörülmüştür.

Adalı ve Yalılı Kılıç, (2021) evsel elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla HOMER Pro programı kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, şebekeden bağımsız güneş-jeneratör hibrit sistem ve şebeke bağlantılı güneş enerji sisteminin analizini yapmışlardır. Şebekeden bağımsız sistemde toplam net bugünkü maliyet 9.159,6 \$ olarak hesaplanırken, şebekeye bağlı sistemde toplam net bugünkü maliyet

1.366,9 \$ olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda şebekeye bağlı sistemin konut kullanımı için en uygun sistem olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesinde yer alan bir süpermarketin elektrik enerjisi ihtiyacının hibrit enerji sistemi ile karşılanması amacıyla HOMER Pro yazılımı kullanılarak ekonomik analiz temelli bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Materyal ve Metot

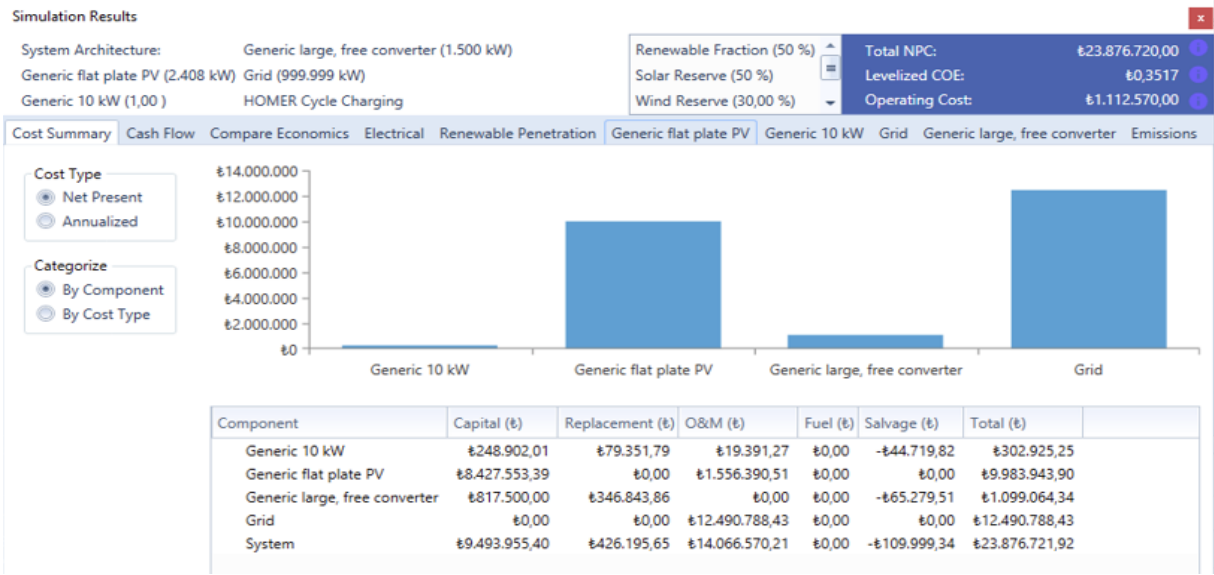
Bursa'nın üç merkez ilçesinden biri olan Nilüfer, 50,756 hektarlık ilçe sınırlarına sahip olup, ilçeye bağlı 42 mahalle, 22 köy muhtarlığı olarak 64 idari birim yer almaktadır. İlçenin 2020 yılında nüfusu 484,832'ye ulaşmıştır (URL-3, URL-4, 2021). İlçe merkezi hızlı bir kentsel gelişme gösterirken, yeşil dokunun korunması için büyük çabalar sarf edilmektedir. Barındırdığı yeşil alanlarla doğa ile baş başa zaman geçirmek isteyenler için alternatifler sunmaktadır. Yeni yapılaşmanın yoğun olduğu bir bölge olması dolayısıyla kent planlamasından çevresel koşullara kadar her konuda çağdaş standartlara sahip olan ilçe, bu yönüyle kısa zamanda Bursa'nın cazibe merkezi olmuştur. İlçe, Bursa'da nüfus artışının en yüksek olduğu yerleşim bölgesidir. (URL-3, 2021).

Bu çalışmada, Nilüfer ilçesinde bulunan bir süpermarketin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla HOMER Pro yazılımı kullanılarak güneş ve rüzgar enerjisinin yer aldığı hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı 2020 yılına ait elektrik tüketim değerleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen süpermarket yaklaşık 6000 m² alana sahip iki katlı bir yapıdır.

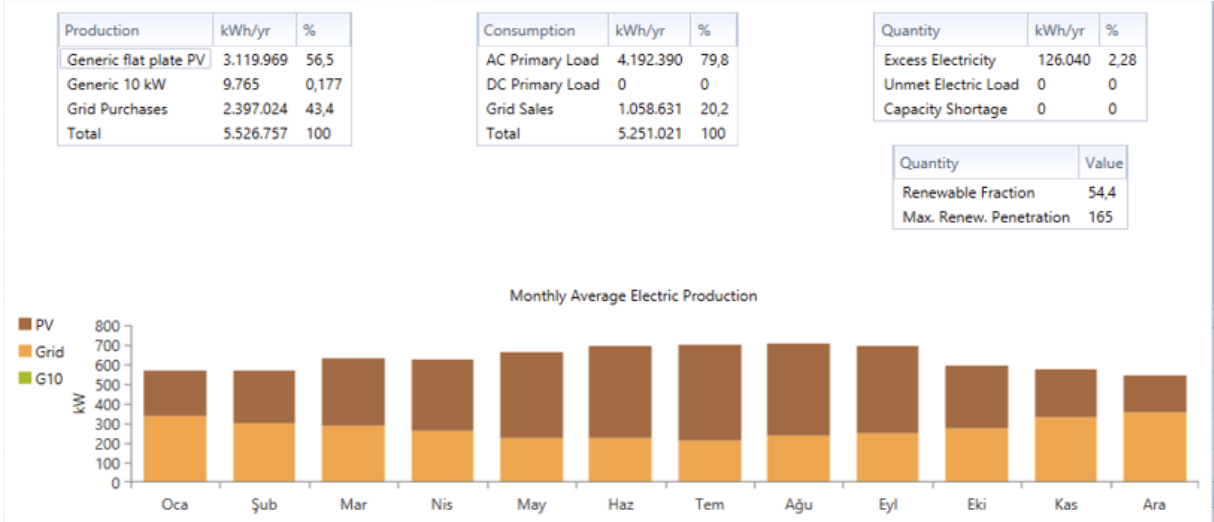
Mikro şebeke yazılımında küresel bir standart olan HOMER, yenilenebilir enerji kaynakları, depolama ve fosil temelli enerji üretimlerine bağlı (yerel jeneratör veya güç şebekesi) mikro şebekelerin ve dağıtılmış güç sistemlerinin tasarım ve uygulamasına dayalı bir programdır. Program büyük ölçüde şebekeden uzak ya da daha geniş bir şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir mikro enerji şebekelerin tasarlanmasını gerçekleştirmektedir. Farklı enerji kullanımları için teknoloji maliyeti, elektrik yükü ve enerji kaynaklarının kullanılabilirliğinin hesaplandığı, duyarlılık analizleriyle çok sayıda teknolojik seçeneğin ekonomik ve teknik fizibilitesinin değerlendirilebildiği, kullanımı nispeten kolay bir programdır. Program aracılığıyla tasarlanan sistemlerin simülasyon, optimizasyon ve duyarlılık analizleri yapılabilmektedir (Habibullah, 2016). Analizler, sistemin teknolojik özelliklerine ve yaşam döngüsü maliyetine odaklanmaktadır. Programın yüksek hızda işlem yapabilmesi çok sayıda potansiyel sistem konfigürasyonunun saatlik simülasyonunu değerlendirebilmeyi mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla HOMER modelinin simülasyonları olağan istatistiksel modellerle karşılaştırıldığında daha kesin bir sonuç sağlamaktadır (Jagadeesh ve ark., 2021).

Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında ele alınan süpermarketin 2020 yılı elektrik tüketim değerleri incelenmiş olup, yıllık ortalama tüketim değeri baz alınarak rüzgar-güneş hibrit enerji sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te Bursa ili güneş ve rüzgâr enerji potansiyelleri yer almaktadır.



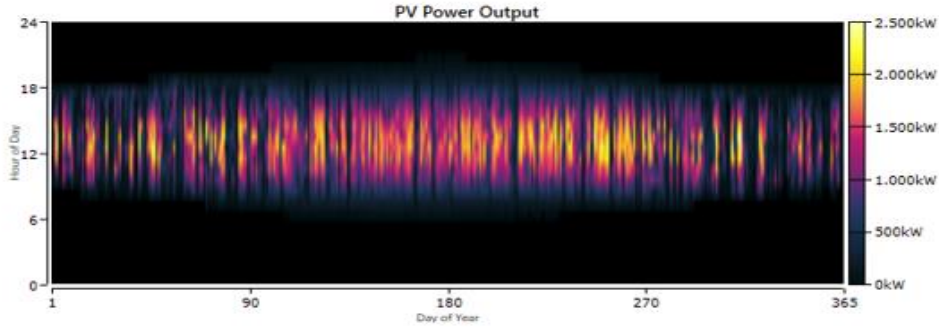
Şekil 5. Tasarlanan sisteme ait maliyet özeti



Şekil 6. Sistemde üretilen aylık ortalama elektrik üretim değerleri

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	2.408	kW
Mean Output	356	kW
Mean Output	8.548	kWh/d
Capacity Factor	14,8	%
Total Production	3.119.969	kWh/yr

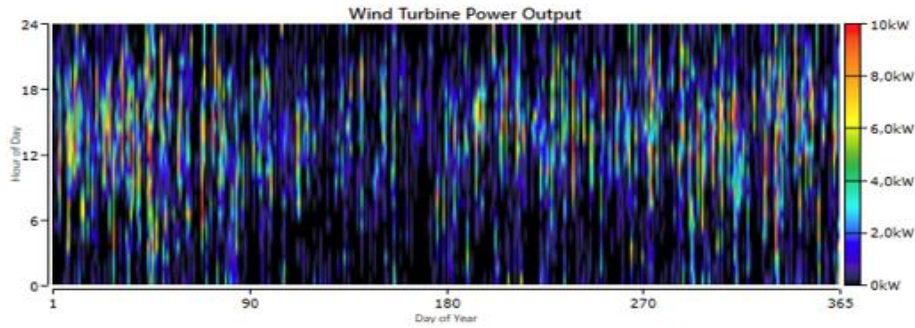
Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	2.478	kW
PV Penetration	74,4	%
Hours of Operation	4.394	hrs/yr
Levelized Cost	0,248	€/kWh



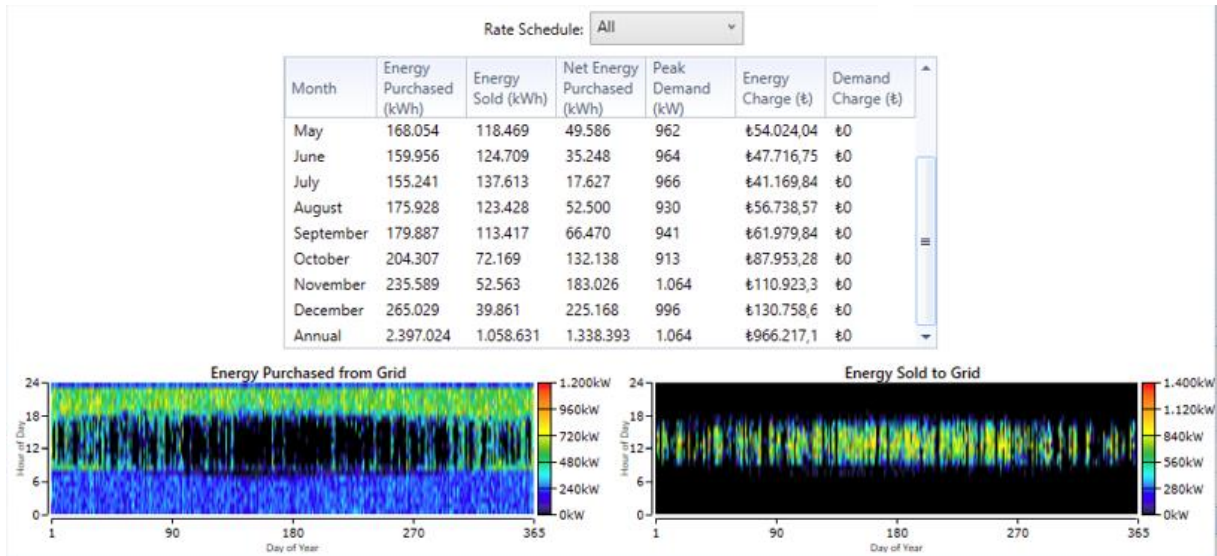
Şekil 7. Güneş paneli elektrik üretim verileri

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	10,0	kW
Mean Output	1,11	kW
Capacity Factor	11,1	%
Total Production	9.765	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	10,0	kW
Wind Penetration	0,233	%
Hours of Operation	6.493	hrs/yr
Levelized Cost	2,40	€/kWh



Şekil 8. Rüzgar türbini elektrik üretim verileri



Şekil 9. Şebekeden alınan-satılan enerji ve maliyet değerleri

Programa şebekeden çekilen elektrik fiyatı 0,54 TL/kW; şebekeye satılan elektrik fiyatı 0,31TL/kW olarak tanıtılmıştır (Anonim, 2021b). Yapılan duyarlılık analizleri sonucunda yenilenebilir fraksiyon oranı %50 olarak belirlenmiştir. Tasarlanan sistemin maliyeti 23.876.720 TL (2.760.314,5 \$) (Şekil 5) olarak bulunmuştur (Anonim, 2021c). Sistemin kWh başına elektrik tüketim değeri 0,352 TL (0,041 \$) olarak belirlenmiştir. Kurulacak sistemde üretilen elektrik değerleri incelendiğinde toplam üretimin 5.526,757 kWh/yıl (Şekil 6), güneş panellerinden üretilen enerji değerinin 3.119,969 kWh/yıl (Şekil 7), rüzgar türbininden elde edilen enerji değerinin ise 9,765 kWh/yıl (Şekil 8) olarak gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

Şekil 9 incelendiğinde sistemin yıllık enerji kullanım maliyeti 966,217 TL'ye (111.701,4 \$) düşmüş olup, 2020 yılı için 1.608,516,4 TL (185.955,7 \$) olarak hesaplanan klasik enerji tüketim maliyetinden 642299,4 TL (74254,3 \$) tasarruf sağlanabileceği; sağlanan tasarrufla sistemin yenilenebilir enerji maliyetlerinin kendisini 18 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmaya benzer olarak Çağlayan (2019) bir sera işletmesinin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla şebeke, rüzgâr, güneş ve jeneratör sistemlerinin enerji modelleme ve benzetim çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Yapılan benzetimler sonucunda fotovoltaik ve rüzgâr enerji sistemlerinin maliyetleri sırasıyla 0,084 ve 0,059 \$/kW olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sonuçlarından enerji maliyeti değerinin hem rüzgar, hem de rüzgar-güneş hibrit sistemleri için benzer olduğu belirlenmiş olup, rüzgar-güneş hibrit enerji sistemi yerine sadece rüzgar enerji sisteminin kurulmasının daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar

Gelecekte artan enerji ihtiyacının karşılanması noktasında yetersiz hale gelecek olan geleneksel enerji kaynaklarının günümüzde artan maliyet ve çevreye olan zararlarının azaltılması ve ülkelerin enerji güvenliğinin sağlanması hususunda yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir potansiyel barındırmaktadır.

Bu çalışmada ticari bir işletmenin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması amacıyla rüzgar-güneş hibrit enerji sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistemin toplam maliyeti 23.876.720 TL (2.760.314,5 \$), kWh başına elektrik tüketim maliyeti 0,352 TL (0,041 \$) olarak hesaplanmış olup, kurulacak sistemin kendisini 18 yılda amorti edebileceği; bu sürenin uzun gibi görünmesine rağmen uzun vadede ülke ekonomisi, işletmenin enerji maliyetinin azaltılması ve temiz enerji eldesi noktasında yenilenebilir enerji yatırımlarının önemli avantajlar sağlayabilecek bir araç olacağı öngörülmektedir.

Yapılan bu çalışmanın neticesinde, tasarlanan enerji sisteminin incelenen işletmenin enerji giderlerinin azaltılmasına, sistemde kullanılan yenilenebilir enerji türlerinin fosil yakıt kaynaklı sera gazlarının azaltılması ve çevre sağlığının korunmasına önemli katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

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

- Adalı S., Yalılı Kılıç M. Evsel elektrik ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji sistemleriyle karşılanması: Bursa örneği. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 10(2): 520-526.
- Anonim. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim Tarihi: 19.09.2021. 2021a.
- Anonim. Devlete elektrik satış fiyatı 2020. <https://www.powerenerji.com/devlete-elektrik-satis-fiyati-2020.html> Erişim Tarihi: 19.09.2021. 2021b.
- Anonim. Güncel döviz kuru. <https://bigpara.hurriyet.com.tr/doviz/dolar/> Erişim Tarihi: 19.09.2021. 2021c.
- Bilen K., Işık B., Gezer S., Kıyık F. Hava soğutmalı fotovoltaik panellerde kanatçık tipinin soğutmaya etkisinin teorik olarak incelenmesi. Politeknik Dergisi 2021; 1-1.
- Bölükbaş E. Su çıkarma amaçlı rüzgar enerjisi kullanımının teknik analizi: Karacabey örneği. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 82, Bursa, Türkiye, 2019.
- Coşgun AE. Türkiye’de 50MW üstü GES üretimi gerçekleştiren şehirlerimizde agrivoltaic sistem kullanılabilirliğinin incelenmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi 2021; 13(2): 711-718.
- Çağlayan N. Bir sera işletmesi için şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız rüzgâr, fotovoltaik ve jeneratör sistemlerinin teknik ve ekonomik değerlendirmesi. Mediterranean Agricultural Sciences 2019; 32(2): 175-184.
- Çetinbaş I., Tamyürek B., Demirtaş M. Design, analysis, and optimization of a hybrid microgrid system using HOMER software: Eskişehir Osmangazi University example. Int. Journal of Renewable Energy Development 2019; 8(1): 65-79.
- Demiryürek HK., Arifoğlu U., Bolat M. 2020. Lebit enerji güneş santralinin Pvsyst programı ile analizi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2020; 9(3): 1351-1363.
- Dursun S. Biyokütle-rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi kullanılarak Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesinin tekno-ekonomik açıdan değerlendirilmesi. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 142, Kırklareli, Türkiye, 2016.
- Gül SE., İzgi E. Rüzgar ve güneş enerji üretim sistemlerine bağlı akıllı veya konvansiyonel panolu bir sanayi tesisinin analizi. Güç Sistemleri Konferansı, 15-16 Kasım 2018, s. 59-63, Ankara.
- Gümüş Z., Demirtaş M. Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması. Politeknik Dergisi 2021; 24(3): 853-865.

- Habibullah M. Rüzgar- fotovoltaik- biyogaz hibrit güç sistemlerinin akıllı mikro şebekelerde kullanımının kontrol ve dizaynı. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 88, İzmir, Türkiye, 2016.
- IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2017. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2018.
- Jagadeesh P., Ansari MMT., Saiveeraj M. Optimal power management of an educational institution using HOMER. Journal of Electrical Engineering & Technology 2021; 16: 1793-1798.
- Özcan H. Bir hibrid enerji sisteminin modellenmesi ve analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 204, İstanbul, Türkiye, 2009.
- Öztürk HK. Rüzgar türbinlerinde işletme ve bakım. Mühendis ve Makina 2020; 61(701): 262-279.
- Öztürk Z., Tosun S., Öztürk A. Örnek bir hibrit yenilebilir enerji sisteminin HOMER ile modellenmesi, ekonomik ve teknik yönden analizleri. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 2(2): 286-299.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021. Rüzgar. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar> Erişim Tarihi: 12.09.2021.
- URL-1. Ülkelere göre güneş enerjisi. <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> Erişim Tarihi: 12.09.2021.
- URL-2. Ülkelere göre rüzgar enerjisi. <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html> Erişim Tarihi: 12.09.2021.
- URL-3. Nilüfer. <https://bursa.ktb.gov.tr/TR-94934/nilufer.html> Erişim Tarihi: 21.09.2021
- URL-4. Bursa Nilüfer nüfusu. https://www.nufusu.com/ilce/nilufer_bursa-nufusu Erişim Tarihi: 21.09.2021
- URL-5. Bursa güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx> Erişim Tarihi: 12.09.2021.
- Yakşı B. Bursa ili kıyı şeridi rüzgar enerjisi potansiyel analizi. Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 111, Bursa, Türkiye, 2018.
- Yıldırım E., Aktacir MA. Çatı üstü PV elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi: Şanlıurfa örneği. DÜMF Mühendislik Dergisi 2021; 12(1): 69-77.

The Effect of Sodium Formate Addition to the Diet of Layer Quail (*Coturnix coturnix Japonica*) on Performance and Egg Quality

Behlül SEVİM^{1*}

¹Eskil Vocational School, Aksaray University, Aksaray

¹<https://orcid.org/0000-0003-2996-3241>

*Corresponding author: behluls68@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 13.12.2021

Accepted: 16.01.2022

Published online:08.03.2022

Keywords:

Quail

Sodium formate

Performance

Egg quality

ABSTRACT

This study was carried out to determine the effect of adding sodium formate at the level of 0, 100, 200 and 400 mg/kg to the diet of laying quails on performance and egg quality. In the experiment, a total of 80 laying quails at 8 weeks of age were randomly distributed to 4 treatment groups with 5 replications. At the end of the study, the effects of sodium formate additives at different levels on body weight change, egg production, egg weight and egg mass were insignificant, while sodium formate addition to the diet at the level of 200 mg/kg decreased feed consumption and improved feed conversion rate ($P<0,05$). While the shell-breaking resistance and Haugh unit were significantly affected by the addition of sodium formate to the diet ($P<0,05$), other egg quality parameters were not. The addition of sodium formate at the levels of 100 and 200 mg/kg to quail compound feeds decreased the shell-breaking strength and increased the Haugh unit. As a result, the addition of high level (200 mg/kg) sodium formate to the diet affected feed evaluation and egg internal quality positively, while shell breaking resistance was negatively affected.

Yumurtacı Bildircinların (*Coturnix coturnix Japonica*) Karma Yemlerine Sodyum Format İlavasının Performans ve Yumurta Kalitesi Üzerine Etkisi

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 13.12.2021

Kabul tarihi: 16.01.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Bildircin

Sodyum format

Performans

Yumurta kalitesi

Bu çalışma yumurtlayan bildircinların karma yemlerine 0, 100, 200 ve 400 mg/kg seviyesinde sodyum format ilavesinin performansa ve yumurta kalitesine etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Denemede 8 haftalık yaşta toplam 80 adet yumurtacı bildircin 5 tekerrürlü 4 muamele grubuna rastgele dağıtılmıştır. Araştırma sonunda karma yeme farklı düzeylerde sodyum format katkısının canlı ağırlık değişimi, yumurta verimi, yumurta ağırlığı ve yumurta kitlesine etkisi önemsiz bulunmuştur. Karma yeme 200 mg/kg seviyesinde sodyum format ilavesi ile yem tüketimi azalmış ve yemden yararlanma oranı iyileşmiştir ($P<0,05$). Yumurta dış ve iç kalite parametrelerinden kabuk kırılma direnci ile Haugh birimi karma yeme sodyum format ilavesinden önemli derecede etkilenirken ($P<0,05$), diğer yumurta kalite parametreleri etkilenmemiştir. Bildircin karma yemlerine 100 ve 200 mg/kg seviyesinde sodyum format ilavesi kabuk kırılma direncini düşürmüş ve Haugh birimini arttırmıştır. Sonuç olarak karma yeme yüksek seviyede (200 mg/kg) sodyum format ilavesi yem değerlendirmeyi ve yumurta iç kalitesini olumlu etkilerken, kabuk kırılma direncini olumsuz etkilemiştir.

To Cite: Sevim B. The Effect of Sodium Formate Addition to the Diet of Layer Quail (*Coturnix coturnix Japonica*) on Performance and Egg Quality. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):236-242.

Giriş

Hayvancılık işletmelerinde maliyet unsurlarının büyük kısmını yem giderleri oluşturmaktadır. Yem giderleri işletmenin karlılığını doğrudan etkilemektedir. Kanatlı karma yemlerinde kullanılan mısır ve soyanın son yıllardaki fiyat dalgalanmaları rasyon maliyetlerini etkilemektedir. Karma yem

maliyetinin azaltmasında yem katkı maddesi kullanılması ve buna bağlı olarak yemden yararlanma oranının (YYO) artırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan yem katkı maddelerinden biri de organik asitlerdir (Khan ve Iqbal, 2016; Iqbal ve ark., 2021). Organik asitlerin doğada aşındırıcı ve uçucu olması sebebiyle katkı maddesi olarak kullanımı zor olup, kullanım kolaylığı sebebiyle tuz formları yemlere ilave edilmektedir. Ayrıca tuz formları asit formlarına göre genellikle kokusuzdur, katı ve daha az uçucu formları nedeniyle yem üretim sürecinde işlenmesi daha kolaydır (Dahiya ve ark., 2016).

Organik asitler antimikrobiyal etki yanında pepsinojenin pepsine dönüşümünü hızlandıran gastrik pH'sını düşürürler, bu da sonuçta proteinlerin, amino asitlerin, minerallerin emilimini ve sindirilebilirliğini artırır ve ara metabolizmada substrat görevi görür (Mousa ve ark., 2018), bu sayede yumurta kalitesi ve yemden yararlanmayı artırır (Çetin ve ark., 2006). Konu üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde organik asitlerin performans ve yumurta kalitesini iyileştirdiği (Soltan, 2008; Abbas ve ark., 2013; Youssef ve ark., 2013) görülmüştür. Organik asitler ile yapılan çalışmalar daha çok laktik asit, asetik asit ve bunların karışımı üzerinde iken sodyum format ile yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Dolayısıyla sodyum formatın yumurtacı kanatlılarda etkisinin belirlenmesi için daha fazla çalışmaya gerek vardır. Bu çalışmanın amacı karma yemlere ilave edilen sodyum formatın yumurtacı bıldırcınlarda performansa ve yumurta kalitesine olan etkisini belirlemektir.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışmada 8 haftalık yaşta 80 adet dişi bıldırcın mısır-soya küspesine dayalı bazal rasyona (Tablo 1) 0, 100, 200 ve 400 mg/kg seviyelerinde sodyum format ilave edilen 4 muamele rasyonu ile 56 gün boyunca *ad-libitum* olarak yemlenmişlerdir. Çalışma her birinde 4 dişi bıldırcının bulunduğu 5 tekerrürden oluşan 4 muamele grubunda gerçekleşmiştir. Çalışmada 16 saat aydınlatma programı uygulanmış olup, yazar çalışmanın Türkiye Cumhuriyeti 5996 sayılı kanununun 9. maddesinde belirtilen hayvan refahı kurallarına uygun olarak gerçekleştirildiğini beyan etmektedirler.

Metot

Performansın tespiti

Denemede bıldırcınlar kafeslere grup tartımı yapılarak konmuş ve deneme sonunda yine grup tartımı yapılmış ve tartımlardan canlı ağırlık değişimi (CAD) g olarak hesaplanmıştır. Deneme yemleri muamele alt gruplarına tartılarak verilmiş ve yem tüketim (YT) g/gün/bıldırcın olarak hesaplanmıştır. Bıldırcınlardan elde edilen yumurtalar günlük olarak kaydedilmiş ve yumurta verimi (YV) % olarak hesaplanmıştır. Denemenin son üç gününde toplanan yumurtalar tartılarak yumurta ağırlığı (YA) g olarak tespit edilmiştir. Bu elde edilen verilerden (YV x YA)/100 formülüyle yumurta kitlesi (YK) g/gün/bıldırcın olarak ve YT/YK formülüyle de g yem/g yumurta olarak YYO hesaplanmıştır.

Tablo 1. Denemede kullanılan bazal rasyon ve hesaplanmış besin madde değerleri

Hammadde	%	Besin Maddeleri Kompozisyonu	%
Mısır	54,20	Metabolik enerji, kkal ME/kg	2902
Soya fasulyesi küspesi	27,00	Ham protein	20,09
Ayçiçeği tohumu küspesi	7,00	Kalsiyum	2,51
Bitkisel yağ	4,30	Kullanılabilir fosfor	0,35
Mermer tozu	5,60	Lisin	1,00
Dikalsiyum fosfat	1,15	Metiyonin	0,45
Tuz	0,35	Sistin	0,37
Premiks ¹	0,25	Metiyonin + sistin	0,82
DL metiyonin	0,15		
Toplam	100,00		

¹Vit-Min premiksi rasyonun1 kg'ında; Mn: 80 mg, Fe: 60 mg, Cu: 5 mg; I, 1 mg, Se: 0,15 mg, Vit A: 8,800 IU, Vit D3: 2,200 IU, Vit E: 11 mg, Nikotin asit: 44 mg, Cal-D-Pan: 8,8 mg, Riboflavin: 4,4 mg, Tiamin: 2,5 mg, Vit B12: 6,6 mg, Folik asit: 1 mg, Biotin: 0,11 mg, Kolin: 220 mg bulunur.

Yumurta kalitesinin tespiti

Deneme süresince kırık, çatlak ve hasarlı yumurtalar kaydedilmiş ve yumurta sayısının %'si olarak hesaplanmıştır. Denemenin son üç gününde toplanan bütün yumurtalardan yumurta dış ve iç kalite parametreleri tespit edilmiştir. Yumurta kabuk kırılma direnci (KKD) yumurtanın küt kısmına destekli sistemli basınç uygulanarak kg olarak tespit edilmiştir (Egg Force Reader, Orka Food Technology, Israel). KKD tespit edilen yumurtaların içleri temiz bir cam yüzeye kırılmış ve kabuk içerisindeki yumurta kalıntıları temizlendikten sonra kabuklar oda sıcaklığında üç gün kurutulup tartılarak YA'na oranı (%'si) olarak kabuk oranı hesaplanmıştır. Yumurta kabuk kalınlığı (KK) mikrometre kullanılarak yumurtanın üç noktasından (ekvator, küt ve sivri kısımlar) ölçümle elde edilen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Mitutoyo, 0.01 mm, Japan).

Yumurta dış kalite özellikleri belirlenen ve temiz bir cam yüzeye kırılan yumurtaların ak ve sarı yüksekliği yükseklik mihengiri ile uzunluk ve genişlikleri ise kumpas yardımıyla ölçülmüş bu verilerden ak yüksekliği/((ak genişliği + ak uzunluğu)/2) × 100 formülüyle ak indeksi, (sarı yüksekliği/sarı çapı) × 100 formülüyle sarı indeksi, 100 x log (ak yüksekliği + 7,57-1,7 x YA^{0,37}) formülüyle Haugh birimi hesaplanmıştır.

İstatistiksel analiz

Deneme sonunda elde edilen verilerin istatistiksel analizleri istatistik paket programı (SPSS, 2016) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arası farklılıkların karşılaştırılmasında Duncan çoklu karşılaştırma testi (Duncan, 1955) kullanılmıştır.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Araştırmada karma yeme farklı oranlarda sodyum format katkısının ele alınan ölçütlerden YT (P<0,01) ile YYO (P<0,05) üzerine olan etkisinin önemli olduğu; buna karşılık CAD, YV, YA ve YK üzerine olan etkisinin önemsiz (P<0,05) olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Karma yeme sodyum format ilavesinin yumurtlayan bıldırcınların performansına etkisi

Parametreler	Sodyum Format mg/kg					P değeri
	0	50	100	200	SHO*	
Canlı Ağırlık Değişimi, g	33,22	17,40	19,92	29,42	6,75	0,375
Yumurta Verimi, %	90,33	88,23	88,41	88,14	1,64	0,753
Yumurta Ağırlığı, g	12,75	12,46	12,87	12,43	0,23	0,482
Yumurta Kütlesi, g/gün/bıldırcın	11,52	10,99	11,37	10,94	0,17	0,111
Yem Tüketimi, g/gün/bıldırcın	30,31 ^a	29,08 ^a	29,72 ^a	26,65 ^b	0,57	0,004
YYO, g yem/g yumurta	2,63 ^a	2,64 ^a	2,61 ^a	2,43 ^b	0,05	0,042

YYO: Yemden yararlanma oranı. * Standart hata ortalamaları

Karma yeme artan miktarda organik asit kaynağı olarak sodyum format katkısı ile YT ve YYO değerleri azalmıştır. Yumurtacı bıldırcın karma yemine sodyum format ilavesinin maksimum (200 mg/kg) olduğu grupta YT ve YYO'daki bu azalma minimum olarak gerçekleşmiştir. Bu konuda yapılan bir araştırmada, 53-61 yaştaki yumurtacı tavukların karma yemine %0; %0,1; %0,2 ve %0,3 düzeyinde sodyum format katkısının YT ve YA üzerine olan etkisinin önemsiz olduğu; buna karşılık YYO ile YK'sini önemli derecede artırdığını bildirmişlerdir (Youssef ve ark., 2013).

Abdelhady ve ark. (2015) ise sodyum format katkısının YYO ve YT üzerine olan etkisinin önemsiz olduğunu açıklarken; Safwat ve ark. (2021), YT azalttığını, YYO artırdığını ifade etmişlerdir. Yesilbag ve Coban (2006), karma yeme organik asit ve tuzlarının katkısının YV ile protein metabolizması üzerine olan etkisinin olumlu olduğunu açıklamışlardır. Çalışmalarda oluşan farklılıkların sebebi, kullanılan hayvanların, dozların, dönemlerin, kullanılan karma yemlerin yapısının, çevre koşullarının, kullanılan organik asitlerin farklı oluşudur.

Denememizde YV, sodyum format katkısından etkilenmemiştir. Soltan (2008), denemede elde ettiğimiz bulguya zıt olarak karma yeme organik asit katkısının YV'yi istatistiki olarak etkilediğini ifade etmiş; Youssef ve ark. (2013)'de bu bulguyu desteklemiştir. Dama (2016)'da yumurtacı tavuk karma yemlerine farklı düzeylerde (100, 200 ve 300 mg/kg) organik asit ilavesinin YV'yi önemli derecede artırdığını bildirmiştir.

Denememizde YA, sodyum format katkısından etkilenmemiştir. Bu konuda yapılan çalışmalarda bu bulguyu destekler nitelikte sonuçlar bulunmuştur (Soltan, 2008; Youssef ve ark., 2013). Vishwanath ve ark. (2020), organik asit katkısının YA'yı istatistiki olarak etkilemediğini bildirirken; Gong ve ark. (2021), organik asit katkısının verim performansı etkilemeyip, yumurta kalitesini iyileştirdiğini açıklamışlardır.

Çalışmamızda karma yeme farklı oranlarda sodyum format katkısının yumurta kabuk kalitesine olan etkileri araştırılmış olup; KKD ve Haugh biriminin sodyum format katkısından istatistiki olarak etkilendiği görülmüştür ($P < 0,05$; Tablo 3).

Tablo 3. Karma yeme sodyum format ilavesinin yumurtacı bildircinlarda yumurta kalitesine etkisi

Parametreler	Sodyum Format mg/kg					P Değeri
	0	50	100	200	SHO	
KKD, kg	1,49 ^a	1,49 ^a	1,34 ^b	1,37 ^b	0,04	0,039
Ak İndeksi	18,25	19,39	19,96	20,49	0,65	0,151
Sarı İndeksi	62,68	62,86	62,80	62,82	0,82	0,999
Haugh Birimi	104,32 ^b	106,55 ^{ab}	107,33 ^a	107,66 ^a	0,67	0,018
KO, %	8,22	8,02	8,04	8,18	0,20	0,872
KK, mm	0,202	0,198	0,198	0,200	0,01	0,862
Hasarlı Yumurta %	0,53	0,01	0,14	0,01	0,19	0,248

KKD: Kabuk kırılma direnci, **KO:** Kabuk oranı (yumurta ağırlığının %'si olarak), **KK:** Kabuk kalınlığı,
^{A,B,C}Aynı satırda farklı harfler ile gösterilen farklar istatistiki olarak önemlidir (P<0,05).

Karma yeme 100 ve 200 mg/kg seviyesinde sodyum format ilavesi Haugh birimini artırmış; KKD'ni azaltmıştır. Sodyum formatın yumurta kalite ölçütlerine olan etkisini araştıran Youssef ve ark. (2013), Haugh biriminin kontrol grubunda 74,50; %0,1 katkılı grupta 83,50; %0,2 katkılı grupta 87,00 ve %0,3 katkılı grupta da 80,50 olduğu, gruplar arasında istatistiki bir farklılık oluşturduğu, aynı zamanda karma yemde sodyum format düzeyi arttıkça Haugh biriminde bir artış oluştuğunu ifade etmiştir. Çalışmamızda ak indeksi, sarı indeksi, KO, KK ile hasarlı yumurta uygulamalardan etkilenmemiştir. Bu konuda yapılan başka bir araştırmada Sarı ve Kaya (2017), organik asit katkısının ak indeksi, sarı indeksi, kırılma mukavemeti üzerine olan etkisinin önemsiz olduğunu göstermiştir.

Sonuç

Sonuç olarak, çalışmadan elde edilen bulgulara göre karma yeme organik asit kaynağı olarak sodyum format ilavesi yumurtacı bildircinların üretim performansını etkilemezken, sodyum formatın 200 mg/kg seviyesinde ilavesi ile YT düşmüş ve YT'deki bu düşüş aynı miktarda (200 mg/kg) sodyum format ilavesi YYO'nı artırmıştır. Kabuk kırılma direnci karma yeme 100 ve 200 mg/kg seviyesinde sodyum format ilavesi azalırken, Haugh birimi artmıştır. Sonuç olarak 200 mg/kg seviyesinde sodyum format ilavesi yem değerlendirmeyi ve yumurta iç kalitesini olumlu etkilemiş ancak yumurta kabuk kırılma direncini olumsuz etkilemiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- Abbas G., Khan SH., Rehman HU. Effects of formic acid administration in the drinking water on production performance, egg quality and immune system in layers during hot season. *Avian Biology Research* 2013; 6(3): 227-232.
- Abdelhady AYM., El-Alaily HA., Ibrahim SA., Abdelaziz MAM. Effect of using sodium formate with restricted calcium and phosphorus on broiler performance and gut health. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds* 2015; 18(2 Special): 431-441.
- Çetin N., Çetin E., Kocaoğlu Güçlü B. Yumurta tavuklarında rasyona ilave edilen humat ve organik asitlerin bazı hematolojik parametreler üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2006; 53: 165-168.
- Dahiya R., Berwal RS., Sihag S., Patil CS. The effect of dietary supplementation of salts of organic acid on production performance of laying hens. *Veterinary World* 2016; 9(12): 1478.
- Duncan DB. Multiple ranges test and Multiple F-test. *Biometrics* 1955; 11: 1-42.
- Dama G. Yumurtacı tavuk rasyonlarına farklı düzeylerde propiyonik asit ilavesinin performans, yumurta kalitesi ve bazı kan parametreleri üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Y. Lisans Tezi)* 2016, Erzurum.
- Gong H., Yang Z., Celi P., Yan L., Ding X., Bai S., Zeng Q., Xu S., Su Z., Zhou Y., Zhang K., Wang J. Effect of benzoic acid on production performance, egg quality, intestinal morphology, and cecal microbial community of laying hens. *Poultry Science* 2021; 100(1): 196-205.
- Iqbal H., Rahman A., Khanum S., Arshad M., Badar IH., Asif AR., Hayat Z., Iqbal MA. Effect of essential oil and organic acid on performance, gut health, bacterial count and serological parameters in broiler. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2021; 23(03): 1-10.
- Khan SH., Iqbal J. Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research* 2016; 44(1): 359-369.
- Mousa BH., Nafaa HH., Attallah OK. Comparison of adding locally prepared probiotic and organic acid (acetic acid) to diets and effects on performance of laying hens. *Biochemical and Cellular Archives* 2018; 18(Suppl. 1): 1245-1249.
- Sarı Ç., Kaya A. Yumurtacı tavuk rasyonlarına katılan organik asitlerin performans, yumurta kalitesi ve bazı kan parametreleri üzerine etkisi. *Hayvansal Üretim* 2017; 58(2): 34-38.
- Safwat AM., Taher MO., El-Deen MB., Abd El-Naeem M. Response to dietary supplementation of mixtures of either selected synbiotic, organic acids or essential oils as growth promoters for growing Japanese quails. *Journal of Animal and Feed Sciences* 2021; 30(3): 279-287.
- Soltan MA. Effect of dietary organic acid supplementation on egg production, egg quality and some blood serum parameters in laying hens. *Int. J. Poult. Sci* 2008; 7(6): 613-621.
- SPSS. IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows, 24.0; IBM Corp: Armonk, NY, USA, 2016.

- Vishwanath BG., Ellusamy B., Paramesh R., Nagalakshmi D., Srilatha T., Rao SVR. Effect of supplementing probiotic, organic acid and herbal extract (phytogrow) on performance, egg quality and gut microbiota in White leghorn layers. *Studies* 2020; 10, 11.
- Yesilbag D., Colpan I. Effects of organic acid supplemented diets on growth performance, egg production and quality and on serum parameters in laying hens. *Revue de Médecine Vétérinaire* 2006; 175, 280-284.
- Youssef AW., El-Daly EF., Abd El-Azeem NA., El-Monairy MM. Effect of sodium formate on laying hen performance, gastrointestinal tract pH and some blood components under heat. *Asian Journal of Poultry Science* 2013; 7(1): 17-26.

Farklı Seviyelerde Gübre Uygulamalarının Değişik Dönemlerde Hasat Edilen Yem Bitkileri Karışımının, Yem Değeri, Yem Kalitesi ve *In Vitro* Fermantasyon Parametreleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Esra GÜRSOY^{1*}, Gürkan SEZMİŞ², Ali KAYA³

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Celal Oruç Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Ağrı

^{2,3}Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Hayvan Bilimleri Bölümü, Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-4697-7365>

²<https://orcid.org/0000-0001-8114-2729>

³<https://orcid.org/0000-0002-7694-7220>

*Sorumlu yazar: esra_gursoykaya@hotmail.com.

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 04.11.2021

Kabul tarihi:10.01.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

In vitro gaz

Yem bitkileri karışımı

Mikrobiyal protein

Metan

Nispi yem değeri

Nispi yem kalitesi

Yem bitkileri karışımına (%35 macar fiği, %35 yem bezelyesi, %10 yulaf, %10 tritikale, %10 buğday), farklı hasat zamanı ve farklı dozlarda gübre uygulamalarının, kimyasal kompozisyonu, nispi yem değeri (NYD), nispi yem kalitesi (NYK), enerji içerikleri (ME, NEL), *in vitro* sindirilebilirlik parametreleri, *in vitro* gaz üretimi, metan (CH₄) üretimi, taksimat faktörü (PF), mikrobiyal protein (MP) ile mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) ve gerçek sindirim derecesi (GSD) üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen araştırmada Ankom Daisy *in vitro* fermentasyon sistemi ve *in vitro* gaz üretim tekniği kullanılmıştır. Farklı zamanlarda yapılan hasat karışımın, HP (ham protein), HS (ham selüloz), NYD, NYK, ME ile NEL, GNDFS (gerçek NDF sindirimi), GOMS (gerçek organik madde sindirimi), TSB (toplam sindirilebilir besin), KMA (kuru madde alımı), GÜ (gaz üretimi), Metan (ml), GSKM (gerçek sidirilebilir kuru madde) ve GSD değerlerini önemli derecede (P<0.05) etkilemiştir. Farklı miktarlarda üre ve DAP (Diamonyum Fosfat) uygulamalarının yem bitkileri karışımının besin madde değerleri NYD, NEL, GNDFS, GOMS, TSB, KMA, NYK ile gaz üretimi, mikrobiyal protein ve gerçek sindirim derecesi parametreleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur (P<0.05). Diğer uygulamalara göre dönüme 10 kg DAP+10 kg/da üre ve sadece 20 kg/da üre uygulamasının daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bulgular değişik zamanlarda yapılan hasadın ve farklı dozlarda gübre uygulamalarının karışımın kimyasal kompozisyonuna ve sindirilebilirlik derecesine katkıda bulunarak nispi yem kalitesi ve değeri bakımından yem kalitesini iyileştirdiği ve erken hasat döneminde gaz üretimini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Determination of the Effects of Fertilizer Applications at Different Levels on Feed Value, Feed Quality and *In Vitro* Fermentation Parameters of Forage Crops Mixture Harvested at Different Periods

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 04.11.2021

Accepted: 10.01.2022

Published online:08.03.2022

Keywords:

In vitro gas

Forage plant mix

Microbial protein

Methane

Relative feed value

Relative feed quality

Chemical composition of forage crops (35% hungarian vetch, 35% forage peas, 10% oats, 10% triticale, 10% wheat) of different harvest times and fertilizer applications at different doses, relative feed value (RFV), relative feed quality (RFQ), energy contents (ME, NEL), *in vitro* digestibility parameters (TNDFD, TOMD, TDN, DMI), *in vitro* gas production, methane (CH₄) production, fractionation factor (PF), microbial protein (MP) and microbial protein synthesis efficiency Ankom Daisy *in vitro* fermentation system and *in vitro* gas production technique were used in the research carried out to determine their effects on (MPSE) and true degree of digestion (TDD). Harvesting at different times significantly affected (P<0.05) the CP

(crude protein), CC (crude cellulose), RFV, RFQ, ME and NEL, TNDFD (true NDF digestion), TOMD (true organic matter digestion), TDN (total digestible nutrients), DMI (dry matter intake), GP (gas production), Methane (ml), TDCM (true digestible dry matter) and TDD values of the mixture. The effects of different amounts of urea and DAP (Diammonium Phosphate) applications on the nutrient values of the forage plant mixture RFV, NEL, TNDFD, TOMD, TDN, DMI, RFQ and gas production, microbial protein and actual digestion degree parameters were found to be significant ($P<0.05$). It was determined that 10 kg of DAP + 10 kg of urea and only 20 kg of urea per decare gave better results than other applications. As a result, it was determined that harvesting at different times and fertilizer applications at different doses contributed to the chemical composition and digestibility of the mixture, improving the feed quality in terms of relative feed quality and value, and reducing gas production in the early harvest period.

To Cite: Gürsoy E., Sezmiş G., Kaya A. Farklı Seviyelerde Gübre Uygulamalarının Değişik Dönemlerde Hasat Edilen Yem Bitkileri Karışımının, Yem Değeri, Yem Kalitesi ve *In Vitro* Fermantasyon Parametreleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1): 243-257.

Giriş

Hayvan beslemede önemli bir yere sahip olan kaba yem, üretimi çayır-mera alanları dışında tarla tarımından da yapılmaktadır. Baklagil ve buğdaygil yem bitkileri ekimi yalın halde yapılabildiği gibi günümüzde karışım ekim olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Karışım ekimin, yalın ekime göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bunlar; baklagillerde verimin daha fazla olması, buğdaygillerde ot kalitesinin artması, bazı hastalıkları azaltması ve yabancı otları baskı altında tutarak çoğalmalarını engellemeleri olarak sıralanabilmektedir (Ghanbari–Bonjar ve Lee, 2003; Mariotti ve ark., 2009; Sarunaite ve ark., 2010; Yıldırım ve Parlak, 2016). Karışım yem bitkilerinin verim ve kalitesini birçok faktörün etkilediği ifade edilmiştir. Bunlar; ekim, gübreleme ve hasat zamanı örnek olarak verilebilir. (Johnston ve ark., 2001; Yolcu ve Serin, 2009; Jilani ve ark., 2018). Kaba yemlerde bitki olgunlaştıkça ham protein oranı, toplam sindirilebilir besin maddeleri miktarı, kuru madde alımı, sindirilebilir kuru madde oranı ve nispi yem değeri azalırken, yem kalitesi hızla düşer. Buna karşın yeşil ve kuru ot verimi ile ADF ve NDF oranı artar (Lacafeld ve ark., 1999; Bates, 2007). Bu sebeple, hasatta bitkilerin kullanım amacı göz önünde bulundurulmalıdır (Gürsoy ve Macit, 2020). Gübre olarak kullanılan üre, bitkilerin azot (N) ihtiyacını karşılar. Ayrıca yüzeye uygulanan ürenin, yağmurla veya sulama suyuyla aşağı doğru taşınması kolaydır. İstenmeyen N kayıpları ise ürün veriminde ve kalitesinde azalmalara neden olabilir. Gübre niteliğinde üretilen üre %45-46 azot ihtiva eder. Diğer azotlu gübrelere göre fiyatı daha uygundur. Kök geliştirici ve dane gelişimine de etki etmesi ile her türlü bitkide rahatlıkla kullanılabilirdiği bildirilmiştir (İşler ve Kılınc, 2016).

Yemin kalitesiyle değerinin belirlenmesinde NYD, NYK ve *in vitro* gaz yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. NYD'nin tespit edilebilmesi için o yemde kimyasal analizler belirlenir ve bu değer bütün bitkilerin değerlendirilmesinde kullanılabilir (Ball ve ark., 1996; Moore ve Undersander, 2002). Bu değer; yüksek süt verimi arzulanan süt hayvanlarına verilecek yemlerin değerlendirilmesinde de kullanılması tavsiye edilmektedir (Rivera ve Parish, 2010). Sindirilebilir kuru madde (SKM) ve kuru madde tüketimi (KMT), yem içerisindeki NDF ve ADF değerleri kullanılması ile hesaplanmakta ve

yonca bitkisi için 100 değeri baz alınan NYD üzerinden tespit edilmektedir (Boman, 2003). Bu yöntem, araştırmacılar, yem üreticileri ve tüccarlar tarafından da kullanılmaktadır (Trotter ve Johnson, 1992). Yem kalitesi, kaba yemlerin ruminantlara istenen besin maddelerini sağlama yeteneği olarak özetlenmektedir (Newman ve ark., 2006). Üretim ise kaba yem içindeki besin maddelerinin miktarıyla açıklanır (Schut ve ark., 2010). Yemin kalitesinin belirlenmesinde daha iyi olduğu söylenen (Ward ve Ondarza, 2008) NYK'si, toplam sindirilebilir besinlerin (TSB) ve kuru madde alınımının tespit edilmesi ile belirlenir (Moore ve Undersander, 2002). Yemlerin besin değerinin belirlenmesinde kullanılan *in vitro* gaz üretim tekniği, günümüzde oldukça fazla kullanılmaktadır (Atalay ve ark., 2017; Sevim ve ark., 2017). *In vitro* gaz üretim tekniği ile yemlerin gaz üretimi, enerji sindirilebilirlikleri, metan üretimi, mikrobiyal protein üretimi ve gerçek sindirim dereceleri belirlenebilmektedir (Thang ve ark., 2012; Lin ve ark., 2013). *In vitro* gaz üretim parametreleri ile *in vivo* sindirim denemelerinde elde edilen yem hammaddelerinin enerji değerleri arasında yakın bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, bu teknik, yemlerin hem çözünebilir ve çözünmeyen fraksiyonlarının sindirim kinetiği hakkında yararlı bir veri tabanı sağlamaktadır (Lee ve ark., 2000; Şeker, 2002). Önceki çalışmalarda yemler *in vitro* gaz üretim miktarına göre değerlendirilirken, günümüzde mikrobiyal protein üretimi ve gerçek sindirilebilirlik değerleri de önem kazanmıştır. Gaz ölçüm tekniklerinde, yem materyallerinin kuru madde sindirilebilirliği (KMS), organik madde sindirilebilirliği (OMS) ve fermentasyon oranı ile fermentasyon hızları, rumen mikrobiyal aktivitesini yakından etkileyerek, mikrobiyal protein sentezi ve mikrobiyal aktivite sonucu fermentasyon son ürünlerini oluşturan uçucu yağ asitleri (UYA) ile üretilen gaz oranlarını yakından etkilemektedir (Seo ve ark., 2010). Özkan ve ark., (2020), yaptıkları çalışmada bazı kaba ve kesif yemlerin kimyasal kompozisyonları ile yemlerin fermentasyon parametreleri arasındaki farklılıkların önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Yemlerin sindirim derecelerinin belirlenmesi ile yemler hakkında daha fazla bilgi sahibi olunabileceğini, fermentasyon parametrelerinin dikkate alınması ile de daha isabetli rasyonların hazırlanabileceğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı karışım yem bitkilerinde hasat zamanı ve farklı gübre uygulamalarının kimyasal kompozisyona, NYD'ne, NYK'ne, *in vitro* sindirilebilirlik parametrelerine, gaz, metan ile mikrobiyal protein üretimine ve gerçek sindirim derecesine etkilerini belirlemektir.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışma Erzincan İlinde, 2019-2020 yılları arasında yürütülmüştür. Tarım ve Orman İl Müdürlüğünün DAP projesi ile çiftçilere yem bitkilerini destek amacı ile hibe edilen beşli yem karışımı (%35 Macar Fıği (Tarm beyazı), %35 Yem Bezelyesi (Szarvası andrea), %10 Yulaf (Kahraman), %10 Tritikale (Karma 2000) ve %10 Buğday (Sönmez 2000) çalışmanın araştırma materyalini oluşturmuştur.

Çalışmadaki uygulamalar

Çalışmada hasat, yem bezelyesinin çiçeklenme dönemine göre yapılmıştır. Birinci hasat, çiçeklenme öncesinde, parsellerin başlarından 50 cm kenar tesiri bırakılarak orak yardımı ile 5 m² alandan yapılmıştır. İkinci hasat çiçeklenmenin %50 olduğu dönemde aynı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Üçüncü hasat ise tam çiçeklenme döneminde yapılmıştır. Yetiştiricilerin tercihleri doğrultusunda, yem karışımının yetiştirildiği alanlara dekara 15 kg karışım tohumu, farklı üre dozları ve DAP + Üre uygulaması yapılmıştır. Deneme aynı iklim koşullarında benzer ana materyalden oluşmuş alanlarda yürütülmüştür.

Birinci alanda gübre uygulaması yapılmamış ve kontrol olarak kabul edilmiştir. İkinci alanda ekimden önce 10 kg DAP verilmiş ve ekimden sonra 15 kg/da üre atılmıştır. Üçüncü alanda ekimden sonra 10 kg/da üre, dördüncü alanda ise ekimden sonra 20 kg/da üre atılmıştır.

İklim verileri

Çalışmanın yapıldığı tarihlerde sıcaklık değerleri açısından en düşük değerlere Şubat ayında, en yüksek sıcaklık değerlerine ise Haziran ayında ulaşılmıştır. Yağış aynı dönemde az olup, en yüksek nemin Aralık ayında olduğu görülmüştür.

Metot

Besin madde içeriklerinin belirlenmesi

Denemede kullanılan bitkilerin hasadı sonrası elde edilen yem karışımlarının; ham protein (HP), kuru madde (KM) ve ham kül (HK) analizleri AOAC (1988) ham yağ (HY) analizi AnkomXT15 ekstraksiyon cihazı yardımı ile AOCS (2005)'e göre uygulanmıştır. Asit çözücülerde çözünmeyen lifli maddeler (ADF), nötr çözücülerde çözünmeyen lifli maddeler (NDF) ve ham selüloz (HS) analizleri ANKOM2000 Fiber Analyzer (Ankom Technology, Macedon NY) cihazı ile asit çözücülerde çözünmeyen lignin (ADL) Van Soest ve ark. (1991)'nin yöntemine göre belirlenmiştir.

Nispi yem değeri, in vitro sindirilebilirliği ve nispi yem kalitelerinin belirlenmesi

Yüzde KMS ve KMT oranları yardımıyla yemlerin nispi yem değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Van Dyke ve Anderson, 2000).

$$NYD = \%KMS \times \%KMT \times 0.775$$

$$\%KMS = 88.9 - (0.779 \times \%ADF)$$

$$\%KMT = 120 / NDF$$

Ankom Daisy inkubator ile belirlenen *in vitro* sindirilebilirlik parametrelerinin tespiti için tampon solüsyonlar Ankom Daisy *in vitro* fermentasyon sistemi için önerildiği gibi hazırlanmıştır. Ankom Daisy inkubator için gerekli olan rumen içeriği Erzurum ilinde faaliyet gösteren Et ve Süt Kurumu'nda

kesilen aynı ağırlık ve yaşta 2 adet Esmer ırkı sığırdan kesimden sonra 5 dakika içerisinde rumenden alınmış ve daha önce 39 °C'ye getirilerek ve CO₂ ilave edilmiş termos içerisinde koyulmuştur. Alınan rumen sıvısı mümkün olan en kısa sürede termoslar içerisinde Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yem Analiz Laboratuvarı'na getirilmiş ve dört katlı tülbent yardımıyla CO₂'li ortamda 39 °C'de süzölmüştür. Rumen sıvısının pH değeri, 6.35 olarak tespit edilmiştir.

Tampon solüsyonlar 2 litrelik bir erlen içerisinde prosedüre uygun miktarda 39 °C'ye getirilinceye kadar homojen biçimde karıştırılmıştır. İnkübatördeki her bir cam kavanoz içerisinde 1600 ml tampon solüsyon karışımı konmuş ve kavanozlar inkübatöre yerleştirilmiştir. Sıcaklığı 39 °C'ye ulaşan sindirim ünitelerindeki tampon solüsyonların üzerine her bir cam kavanoz için 400 ml rumen sıvısı konulmuş ve yem içeren torbalar cam kavanozlar içerisinde konularak 48 saat süreyle inkübasyona tabi tutulmuştur. İnkübasyonu takiben cam kavanozlar içerisindeki tampon çözelti rumen sıvısı dökülerek uzaklaştırılmış, torbalar ise çeşme suyu altında tamamen temizleninceye dek yıkanmış ve yıkanan torbalar Ankom Fiber Analyzer cihazına konularak NDF prosedürü uygulanmıştır. Örneklerin GOMS, GNDFS, KMA ve TSB değerleri başlangıçta inkübe edilen miktar ve NDF prosedürünün sonunda belirlenen miktar arasındaki farktan yola çıkarak aşağıda belirtilen formüller ile hesaplanmıştır.

*Daisy 48 Saatlik (% GSD) = (100-((İlk numune mik.- İnk. sonrası numune mik.)/ İlk numune mik.)*100)*

*Daisy 48 Saatlik (% GNDFS) = (100-(((İlk numune mik.- NDF analiz sonrası numune mik.)/ İlk numune mik.)*100)*

*Daisy 48 Saatlik (% GOMSD) = (100-(((İlk numune mik.- NDF analiz sonrası ham kül mik.)/ Numunenin ham kül mik (%).)*100)*

*NYK (nispi yem kalitesi) = (KMA, %KM) * (TSB, % KM) / 1.23*

eşitliği ile hesaplanmıştır (Ward ve Ondarza, 2008).

Yem hammaddelerinin metabolik enerji (ME) net enerji laktasyon (NEL) değerleri Menke ve Steingass (1988)'in bildirdiği eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$ME, MJ/kg DM = 2.20 + 0.1357xGÜ + 0.057xHP + 0.002859 x HY2$$

$$NEL (MJ/kg KM) = 0.101xGÜ + 0.051x HP + 0.112 x HY$$

(GÜ: 200 mg kuru yem örneğinin 24 saat inkübasyon süresi sonundaki net gaz üretimi, HP: %ham protein, HY: %ham yağ ve HK: %ham kül).

İn vitro gaz üretimleri ve gerçek sindirim derecelerinin belirlenmesi

100 ml hacimli cam şırıngalar içerisinde ortalama 500 mg yem numuneleri 40 ml'lik tampon çözelti rumen sıvısı ile 24 saat 39 °C'de inkübasyona tabi tutulmuştur (Menke ve ark., 1979). 24 saatlik fermantasyonun ardından üretilen toplam gaz içerisinde bulunan metan miktarı (%) Infrared Metan Analiz cihazı ile (Sensor Europe GmbH, Erkrath, Germany) tespit edilmiştir (Goel ve ark., 2008). 24 saatlik inkübasyonun sonunda şırıngalar içerisinde kalan yem materyali beher içerisine alınarak üzerine 75 ml NDF çözeltisi ilave edilip bir saat boyunca kaynamaya bırakılmıştır. Sonrasında por'u bir

numaralı kroze yardımıyla süzme tamamlanmıştır. Süzme işleminden sonra krezeler etüvde 4 saat kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra gerçek sindirilmiş kuru madde miktarı, taksimat faktörü, mikrobiyal protein üretimi ve sentezleme etkinliği değerleri Blümmel ve ark. (1997)'nin bildirdiği yöntemle uygun olarak belirlenmiştir.

$$GSKM (mg) = \text{İnkübe edilen KM (mg)} - \text{Kalan KM (mg)}$$

$$GSD (\%) = (GSKM / \text{İnkübe edilen KM}) \times 100$$

$$\text{Taksimat Faktörü (PF)} = GSKM/GÜ$$

$$\text{Mikrobiyal Protein (MP) (mg/g KM)} = GSKM - (GÜ \times 2,2 \text{ mg/ml}),$$

$$\text{Mikrobiyal Protein Sentezleme Etkinliği (MPSE)} = (GSKM - (GÜ \times 2.2 \text{ mg/ml}))/GSKM.$$

İstatistiksel analiz

Analiz sonuçları sonrasında elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Zhang ve ark., 1996).

Bulgular ve Tartışma

Farklı seviyelerde gübre uygulamalarının değişik dönemlerde hasat edilen yem bitkilerini karışımının kimyasal kompozisyonu üzerine etkisi

Karışım yem bitkisinin farklı hasat dönemlerinde kimyasal kompozisyonundan HP ve HS içerik ortalamalarını ve farklı gübre uygulamalarında incelenen kimyasal kompozisyon ortalamalarını önemli derecede ($P < 0.05$) etkilemiştir (Tablo 1). HP'in biçimlere göre ortalamaları; %16,47; 13,28 ve 12,16; HS'un ise %23,11; 27,19 ve 24,78 olmuştur. İlk biçime göre HP oranları azalırken, HS oranları ise artış göstermiştir. Karışım yem bitkilerinde hasat zamanı geciktikçe HP oranının azaldığı, HS oranının arttığı yani iki bileşen arasında ters bir ilişkinin bulunduğu bildirilmiştir (Aksoy ve Nursoy, 2010). Beck ve ark. (2009) ile Rosser ve ark. (2013)'ü, buğday ve arpa hasıllarında HP içeriğinin bitkide olgunlaşma dönemi ilerledikçe azaldığını bildirmişlerdir. Arpa haslında NDF içeriğinin, süt olum döneminde ve erken hamur olum döneminde hasat edilmesi ile değişmediği, geç hamur olum dönemine hasat edilmesi ile de bir miktar artışın olduğu (Edmisten ve ark., 1998), aynı zamanda bitkinin hasat süreci ilerledikçe lezzetliliğinin azalarak tüketiminin de azalacağı, lignifikasyonun artması ile de yemin sindirilebilirliğinin azalacağı bildirilmiştir (Kilcher ve Troelsen, 1973).

Tablo 1. Farklı seviyelerde gübre uygulamalarının değişik dönemlerde hasat edilen yem bitkilerini karışımının kimyasal kompozisyonu üzerine etkisi (% KM)

	Hasat Zamanı	0	10 kg DAP 15 Üre kg/da	10 Üre kg/da	20 Üre kg/da	Ortalama
HY	1	3,10	2,15	1,17	1,03	1,87
	2	3,36	1,66	2,06	0,48	1,89
	3	2,55	2,42	2,89	0,46	2,08
	Ort	3,00^a	2,08^b	2,04^b	0,66^c	
HP	1	12,84	20,33	15,27	17,45	16,47a
	2	11,66	14,08	13,32	14,07	13,28b
	3	10,91	14,39	10,76	12,58	12,16b
	Ort	11,80^c	16,27^a	13,12^{bc}	14,70^{ab}	
HS	1	23,64	24,76	22,72	21,32	23,11b
	2	28,33	29,54	23,42	27,46	27,19a
	3	26,34	24,65	22,82	25,31	24,78b
	Ort	26,10^a	26,31^a	22,99^b	24,70^{ab}	
NDF	1	61,74	66,17	59,03	66,32	63,32
	2	66,30	68,63	61,39	63,59	64,98
	3	65,26	67,82	60,52	59,78	63,34
	Ort	64,43^b	67,54^a	60,32^c	63,23^b	
ADF	1	34,17	40,81	36,33	39,35	37,66
	2	40,27	42,23	36,50	38,21	39,30
	3	40,37	41,71	35,58	35,60	38,32
	Ort	38,27^{ab}	41,58^a	36,14^b	37,72^b	
ADL	1	6,97	12,95	10,33	14,39	11,16
	2	8,99	9,40	7,82	12,84	9,76
	3	10,69	13,60	10,30	13,58	12,04
	Ort	8,89^c	11,98^{ab}	9,48^{bc}	13,61^a	

a,b, ^{a,b,c}: Aynı sütun ve satırda yer alan farklı simgeye sahip ortalamalar birbirinden farklıdır P<0.05, 1: Çiçeklenme öncesi, 2: %50 çiçeklenme, 3: Tam çiçeklenme, KM; Kuru madde, HK: Ham kül, HY: Ham yağ, HP: Ham protein, HS: Ham selüloz, NDF: Nötr deterjan fiber, ADF: Asit deterjan fiber, ADL: Asit deterjan lignin

En yüksek HP, HS, NDF ve ADF 10 kg DAP 15 kg/da üre uygulamasında (%16,27; 26,31; 67,54 ve 41,58), HY kontrolde (%3,00) ve ADL 20 kg/da üre uygulamasında (%13,61) görülmüştür. En düşük HS, NDF ve ADF 10 kg/da üre uygulamasında (%22,99; 60,32 ve 36,14), HY 20 kg/da üre uygulamasında (%0,66), HP ve ADL ise kontrolde (%11,80 ve 8,89) olmuştur. DAP+üre uygulamasının HP oranını artırırken üre uygulaması HY oranını düşürmüştür. Ayrıca üre kullanımı hücre duvarı içerik değerlerini (ADF, NDF) azaltarak olumlu etki göstermiştir. Korkmaz (2016) arpa-fiğ karışımlarında, Yörük (2019) fiğ-tritikale karışımlarına farklı oranlarda uygulanan azotun bitkilerde ADF ve NDF oranlarını etkilemediğini bildirmişlerdir. Temel ve Şurgun (2019) kinoa bitkisinde, Türk ve Alagöz (2019) arı otunda azotlu gübre uygulamalarının HP oranını artırdığı, ADF ve NDF oranlarını ise azalttığı sonucuna varmışlardır. Bu çalışmadaki üre uygulamasının diğer çalışmalara göre farklılık göstermesi karışımda kullanılan bitki sayısı, tür-çeşidi, denemenin yapıldığı bölgedeki toprak, iklim ve topoğrafik yapıdan kaynaklandığı söylenebilir.

Farklı Seviyelerde Gübre Uygulamalarının Değişik Dönemlerde Hasat Edilen Yem Bitkilerini Karışımının NYD, ME ve İn Vitro Sindirilebilirlik Parametrelerine Etkileri

Karışım yem bitkisinin NYD, enerji ve *in vitro* sindirilebilirlik parametreleri, farklı hasat dönemlerinden ve gübre uygulamalarından (ME hariç, $P>0.05$) önemli derecede ($P<0.05$) etkilemiştir (Tablo 2). Biçimlere göre en yüksek NYD, ME, NEL, GNDFS, TOMS ve KMA ortalamaları (109,63; 8,44; 4,98; %58,41; %95,42 ve %2,37) ilk biçimde, TSB ve NYK ortalamaları (%60,83 ve 114,13) 3. Biçimde, en düşük NYD, ME, NEL, GNDFS, TSB, KMA ve NYK ortalamaları (96,84; 7,64; 4,39; %52,66; %56,18; %2,14 ve 98,06) 2. Biçimde, TOMS ortalaması (%93,72) ise 3. Biçimde gerçekleşmiştir. Uludere (2019), bazı arpa hasıllarının bitkinin olgunlaşma dönemi ilerledikçe NYD'nin arttığını tespit etmiştir. Beck ve ark. (2009)'ı, buğday kuru otlarında hasat zamanı geciktikçe KM ve NDF sindirilebilirliğinin azaldığını bildirmektedirler. Aksoy ve Nursoy (2010), karışım yem bitkilerinde gerçek kuru madde sindirimi, NEL ve ME'nin, Salama ve Zeid (2016), NYD (124,66), KMA (2,34), TSB (64,65) ve NYK (191,40) değerlerinin hasat dönemlerine göre ilk hasatta daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Rustas ve ark. (2011)'ı, buğday KM ve NDF'nin sindirilebilirliğinin, bitkinin süt ve hamur olum aşamasında hasat edilmesi ile değişmediğini, tam tersi arpa NDF sindirilebilirliğinin ise bitkinin süt ve hamur olum aşamasında hasat edilmesi ile değiştiğini belirlemişler.

Tablo 2. Farklı seviyelerde gübre uygulamalarının değişik dönemlerde hasat edilen yem bitkilerini karışımının NYD, enerji ve *In Vitro* sindirilebilirlik parametreleri (KM)

	Hasat Zamanı	0	10 kg DAP 15 Üre kg/da	10 Üre kg/da	20 Üre kg/da	Ortalama
NYD	1	112,51	104,68	118,01	103,32	109,63a
	2	89,14	90,97	108,09	99,14	96,84b
	3	96,68	97,05	114,83	114,43	105,75a
	Ort	99,45^b	97,57^b	113,64^a	105,63^{ab}	
ME	1	8,83	8,16	8,30	8,46	8,44a
	2	7,68	7,64	7,89	7,46	7,67c
	3	7,85	7,97	8,10	8,04	7,99b
	Ort	8,12	7,92	8,10	7,99	
NEL	1	5,37	4,84	4,80	4,92	4,98a
	2	4,53	4,35	4,57	4,09	4,39c
	3	4,57	4,68	4,79	4,51	4,64b
	Ort	4,83^a	4,62^{ab}	4,72^{ab}	4,51^b	
GNDFS	1	53,63	62,07	57,60	60,33	58,41a
	2	48,58	55,62	52,37	54,08	52,66b
	3	52,39	57,69	58,26	57,55	56,47a
	Ort	51,53^b	58,46^a	56,07^a	57,32^a	
GOMS	1	94,97	96,59	95,28	94,84	95,42a
	2	94,93	95,56	94,21	93,77	94,62b
	3	93,56	93,88	93,83	93,63	93,72c
	Ort	94,49^b	95,34^a	94,44^b	94,08^b	
TSB	1	60,73	56,99	60,29	58,32	59,08a
	2	55,00	54,03	59,79	55,90	56,18b
	3	59,42	60,21	63,32	60,36	60,83a
	Ort	58,38^b	57,07^b	61,13^a	58,19^b	
KMA	1	2,33	2,36	2,51	2,29	2,37a

	2	2,00	2,09	2,31	2,16	2,14b
	3	2,17	2,22	2,42	2,42	2,31a
	Ort	2,17^b	2,22^b	2,41^a	2,29^{ab}	
NYK	1	115,05	109,69	122,92	108,57	114,06a
	2	89,42	92,08	112,18	98,56	98,06b
	3	104,87	108,50	124,55	118,58	114,13a
	Ort	103,11^b	103,43^b	119,88^a	108,57^b	

a,b,c,^{ab}: Aynı sütun ve satırda yer alan farklı simgeye sahip ortalamalar birbirinden farklıdır P<0,05, 1: Çiçeklenme öncesi, 2: %50 çiçeklenme, 3: Tam çiçeklenme, NYD: Nispi yem değeri, ME: Metabolik enerji, NE: Net enerji, GNDFS: Gerçek NDF sindirimi, GOMS: Gerçek organik madde sindirimi, TSB: Toplam sindirilebilir besin, KMA: Kuru madde alınımı, NYK: Nispi yem kalitesi.

Gübre uygulamalarına göre karışım yem bitkisinin en yüksek NYD, TSB, KMA ve NYK ortalamaları (113,64; %61,13; %2,41 ve 119,88) 20 kg/da üre uygulamasında, NEL (4,83) kontrolde, GNDFS ve TOMS ortalamaları (%58,46 ve %95,34), 10 kg DAP 15 kg/da üre uygulamasında görülmüştür. En düşük NYD ve TSB ortalamaları (97,57 ve %57,07) 10 kg DAP 15 kg/da üre uygulamasında, NEL ve TOMS ortalamaları (4,51 ve %94,08) 20 kg/da üre uygulamasında, GNDFS, KMA ve NYK ortalamaları (%51,53; %2,17 ve 103,11) kontrol grubunda gerçekleşmiştir. Çelik ve Selçuk (2019), fiğ, yonca kuru otu karışımında karamba kuru otunun artan oranlarda bulunması ile *in vitro* gerçek sindirilebilirlik parametrelerini artırdığını bildirmiştir. Kontrole göre karışım yem bitkilerinde gübre uygulamaları, *in vitro* sindirilebilirlik parametreleri ve NYD ve NYK ortalamalarına olumlu etki yapmıştır. Lanyasunya ve ark. (2006)'ı, sorgum ve tüylü fiğ karışımlarında gübre uygulamasının, NYD ve NYK değerlerini etkilemediğini bildirmişler. Bu çalışma sonuçlarının aksine karışım yem bitkisinde azot ve fosfor gübre uygulamasının HP oranını artırmasına rağmen ADF ve NDF oranlarını artırdığı için NYK'ni azalttığı sonucuna varılmıştır (Boureau ve ark., 2016). Kılıçalp ve ark. (2016)'ı, mera otlarında organik madde sindirilebilirliği ile azot dozları arasında doğrusal ve quadratik bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Yüksel ve Türk (2019), yem bezelyesinde kullanılan fosfor oranının artması ile yemin NYD'lerinde artış gösterdiğini belirlemişler. Çalışmada elde edilen sonuçların yapılan diğer çalışma sonuçlarından farklı olması kullanılan bitki tür-çeşit, gübre farklılıklarından ayrıca iklim, toprak yapısının da aynı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Farklı hasat dönemlerinin ve farklı gübre uygulamalarının karışım yem bitkisi gaz üretimleri, mikrobiyal protein üretimleri ve gerçek sindirim dereceleri

Karışım yem bitkisinin gaz üretimleri, mikrobiyal protein üretimleri ve gerçek sindirim dereceleri, farklı hasat dönemlerinden önemli derecede (P<0,05) etkilemiştir (Tablo 3). GÜ, Metan (ml), GSKM ve GSD'nin biçimlere göre en yüksek ortalamaları sırasıyla; 97,38; 14,67; 271,97 ve 58,49 ile 1. biçimde, en düşük ortalamaları ise sırasıyla; 86,53; 13,15; 246,64 ve 52,63 ile 2. biçimde belirlenmiştir. İlk hasat zamanına göre diğer hasat zamanlarında karışımın GÜ, Metan (ml), GSKM ve GSD ortalamalarında azalma olduğu gözlenmiştir. Yemlerin metan içeriği (%), > 11 ile ≤ 14 arasında düşük, > 6 ile < 11 arasında orta ve > 0 ile < 6 arasında ise yüksek anti-metanojenik potansiyele sahip olacağı bildirilmiştir (Lopez ve ark., 2010). Metan üretiminin yüksek olduğu, PF değerlerinin bildirilen (PF: 2,75-4,41, Blümmel ve ark., 1997b) değerler arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Farklı hasat dönemlerinde ve farklı gübre uygulamalarında karışım yem bitkisinin gaz üretimi, mikrobiyal protein üretimi ve gerçek sindirim derecesi

	Hasat Zamanı	0	10 kg DAP 15 Üre kg/da	10 Üre kg/da	20 Üre kg/da	Ortalama
GÜ	1	108,21	88,12	96,23	96,93	97,38a
	2	88,12	85,30	90,59	82,13	86,53b
	3	92,35	90,94	96,93	94,47	93,67a
	Ort	96,23^a	88,12^b	94,58^a	91,18^{ab}	
		16,86	12,36	15,40	14,06	14,67a
Met	2	13,05	12,09	14,45	13,01	13,15b
	3	14,25	13,39	14,20	16,67	14,63a
	Ort	14,72^a	12,61^b	14,68^a	14,58^a	
		15,58	14,03	16,01	14,48	15,02
		14,81	14,17	15,96	15,84	15,20
Met%	3	15,42	14,72	14,64	17,66	15,61
	Ort	15,27^{ab}	14,31^b	15,54^{ab}	15,99^a	
		242,86	290,68	272,40	281,95	271,97a
		226,09	261,64	246,50	252,35	246,64b
		242,87	268,85	268,49	271,66	262,97a
GSKM	Ort	237,27^b	273,72^a	262,46^a	268,46^a	
		2,24	3,30	2,83	2,91	2,82
		2,57	3,07	2,72	3,07	2,86
		2,63	2,96	2,77	2,88	2,81
	Ort	2,48^d	3,11^a	2,77^c	2,95^b	
PF		17,72	107,34	72,19	80,27	69,38
		42,74	84,16	58,02	81,47	66,60
		50,73	79,65	66,82	75,12	68,08
	Ort	37,06^d	90,38^a	65,68^c	78,96^b	
		7,29	36,93	26,50	28,47	24,80
MP		18,90	32,16	23,53	32,28	26,72
		20,87	29,63	24,89	27,66	25,76
	Ort	15,69^c	32,91^a	24,97^b	29,47^a	
		53,51	62,20	57,99	60,25	58,49a
		48,54	55,71	52,46	53,80	52,63b
MPSE		52,18	57,46	58,01	57,72	56,34a
	Ort	51,41^b	58,46^a	56,16^a	57,26^a	

a,b,^{a,b,c,d} Aynı sütun ve satırda yer alan farklı simgeye sahip ortalamalar birbirinden farklıdır P<0.05, 1: Çiçeklenme öncesi, 2: %50 çiçeklenme, 3: Tam çiçeklenme, GÜ: Üretilen net gaz, GSKM: Gerçek sindirilen kuru madde (mg), PF: Taksimat faktörü, MP: Mikrobiyal Protein (mg), MPSE: Mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (%), GSD: Gerçek sindirim derecesi (%).

Karışım yem bitkisinde gübre uygulamalarının yemde GÜ, Metan (ml, %), GSKM, PF, MP, MPSE ve GSD ortalamalarını önemli derecede etkilemiştir (P<0.05). En yüksek GÜ ve metan üretimleri (ml) (96,23 ve 14,72) 20 kg/da üre uygulamasında, GSKM, PF, MP, MPSE ve GSD (273,72; 3,11; 90,38; 32,91 ve 58,46) ortalamaları ise 10 kg DAP 15 kg/da üre uygulamasında görülmüştür. GÜ ve metan üretimlerinde en düşük ortalamalar (ml, %) (88,12; 12,61 ve 14,31) 10 kg DAP 15 kg/da üre uygulamasında, GSKM, PF, MP, MPSE ve GSD ortalamaları (237,27; 2,48; 37,06; 15,69 ve 51,41) ise kontrol gurubunda tespit edilmiştir. GÜ ve metan üretimleri dışında gübre uygulamalarının, gerçek sindirilebilir değerlerini ve protein üretimlerini pozitif yönde etkilediği gözlenmiştir. Çalışmadaki karışım yem bitkisinin 14,31-15,99(%) ile yüksek anti-metanojenik potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Özkan ve ark. (2020), saman ve yoncanın % metan üretimini 16,1 ve 17,6 olarak tespit

etmiştir. Bu çalışmada elde edilen PF değerleri (2,48-3,11) bildirilen aralık içerisinde yer almıştır (PF: 2,75-4,41, Blümmel ve ark., 1997b). Ruminant hayvanlar protein ihtiyacını mikrobiyal protein ve Bypass proteinden karşılar. Bu çalışmada mikrobiyal protein üretimi ve sentezleme etkinliğini, gübre uygulamaları artırmıştır. Başer ve Kamalak (2020), bazı baklagil ağaç yapraklarının GSD'nin %37,36-65,25 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Özkan ve ark. (2020)'ı bazı kaba yemlerde PF, MP ve MPSE değerleri bakımından en düşük değere buğday samanı sahip olduğunu yemlerin NDF, ADF, gaz üretimi, GSKM, metan (ml) ve GSD'leri arasında negatif ilişki bulunduğunu, artan ADF ve NDF ile gaz üretimi, GSKM, metan üretimi (ml) ve GSD'nin azaldığını ayrıca yemlerin HP oranı ile metan üretimi (%), PF, MP ve MPSE arasında pozitif bir ilişki bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Sonuç

Karışım yem bitkilerinde farklı zamanlarda yapılan hasat, yemlerin HP, HS, NYD, ME, NEL, GNDFS, TOMS, TSB, KMA, NYK, GÜ, Met (ml), GSKM ve GSD değerlerini önemli derecede ($P<0.05$) etkilemiştir. Yem bitkilerinin yetiştirilmesinde farklı oranlarda üre ve DAP uygulamaları yemlerin incelenen kompozisyon değerlerini, NYD, NEL, GNDFS, TOMS, TSB, KMA, NYK ile gaz üretimi, MP ve GSD'ni önemli derecede ($P<0.05$) etkilemiştir. Farklı dozlarda gübre uygulamalarının karışımın kimyasal kompozisyonuna ve sindirilebilirlik derecesine katkıda bulunarak nispi yem kalitesi ve değeri bakımından yem kalitesini iyileştirdiği ve erken hasat döneminde gaz üretimini düşürdüğü tespit edilmiştir. İlk ürün olarak karışım yem bitkisinin 10 kg DAP 10 üre kg/da ve 20 üre kg/da uygulaması yapılarak yetiştirilebileceği ve hayvanların kaliteli kaba yem açığının bir tarladan yılda iki ürün alınarak önemli oranda kapatılabileceği kanısına varılmıştır. Yapılan çalışmalarda yemlerin yem kalitelerine, gaz üretimlerine ve fermantasyon ürünlerine bakılarak seçilmesi ile oluşturulan rasyonlar hem hayvan sağlığına hem de yüksek miktar ve kaliteli hayvansal ürünlerin elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan ederler.

Kaynakça:

Aksoy İ., Nursoy H. Vejetasyonun farklı dönemlerinde biçilen macar fiği buğday karışımının besin madde kompozisyonu, rumende yıkılım özellikleri, *in vitro* sindirilebilirlik ve rölatif yem değerinin belirlenmesi. Kafkas Univ Vet Fak J 2010; 16(6): 925-931.

AOAC. Official methods of analysis. 16th ed., AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. 1998.

- AOCS. Official procedure, approved procedure Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. J Am Oil Chem Soc, Urbana, IL. 2005.
- Atalay AI., Ozkan CO., Kaya E., Kurt O., Kamalak A. Effect of maturity on chemical composition and nutritive value of leaves of *Arbutus andrachne* shrub and rumen *in vitro* methane production. Livestock Research for Rural Development 2017; 29(7): 2017.
- Ball DM., Hoveland CS., Lacefield GD. Forage quality in southern forages. Potash & Phosphate Institute. Norcross, Georgia 1996; 124-132.
- Başer A., Kamalak A. Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde yetişen bazı baklagil ağaç yapraklarının yem değerleri ve *in vitro* fermantasyon özellikleri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2020; 7(4): 940-947.
- Bates G. High-quality hay production. The University of Tennessee Institute of Agriculture, Knoxville, SP437-A-3.5M-7. 2007.
- Beck PA., Stewart CB., Gray HC., Smith JL., Gunter SA. Effect of wheat forage maturity and preservation method on forage chemical composition and performance of growing calves fed mixed diets. J. Anim. Sci 2009; 87: 4133-4142.
- Blümmel M., Steingass H., Becker K. The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and Nile15 incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. Brit J Nutr 1997a; 77: 911-921.
- Blümmel M., Makkar HPS., Chisanga G., Mtimuni J., Becker K. The prediction of dry matter intake of temperate and tropical roughages from *in vitro* digestibility/gas-production data, and the dry matter intake and *in vitro* digestibility of African roughages in relation to ruminant liveweight gain. Animal Feed Science and Technology 1997b; 69(1-3): 131-141.
- Boman RL. New forage analysis: Increased feed efficiency potential. USU Dairy Newsletter 2003; 26, 3.
- Boureau C., Stavarache M., Samuil C., Vintu V. Influence of fertilization on forage quality of the simple mixtures between *Bromus inermis* Leyss. and *Onobrychis viciifolia* Scop. Lucrări Științifice 2016; 59(1): 189-192.
- Çelik H., Selçuk Z. Karambanın fiğ otu ve yonca otu ile farklı oranda karışımlarının *in vitro* gerçek sindirilebilirliğinin belirlenmesi. Van Vet Fak 2019; 30(3): 145-149.
- Ghanbari-Banjar A., Lee HC. Intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Vicia faba* L.) as a whole-crop forage: Effect of harvest time on forage yield and quality. Grass and Forage Science 2003; 58: 28-36.
- Goel G., Makkar HPS., Becker K. Effect of sesbania sesban and carduus pycnocephalus leaves and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L) seeds and their extract on partitioning of nutrients from roughage and concentrate based feeds to methane. Anim Feed Sci Technol 2008; 147(1-3): 72-89.

- Gürsoy E., Macit M. Hasat zamanının kaba yemin kimyasal kompozisyonu ve kalitesi üzerine etkisi. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed & Refereed 2020; 8(9): 168-177.
- İşler N., Kılınç M. Tarla tarımı. Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı, Hatay, s. 184. 2016.
- Jilani M., Ajam NH., Faraji A. Effect of bed planting on the quantity and quality of hay in different mixing ratios of vetch and barley in the north of Iran. Applied Ecology and Environmental Research 2018; 16(4): 4477-4490.
- Johnston J., Mckinlay J., Wheeler B. Forage production from spring cereals and cereal-pea mixtures. Agdex no. 120. Ontario Ministry of Agriculture. Food and Rural Affairs Toronto, Canada. 2001.
- Kılıçalp N., Avcı M., Hızlı H. Farklı azot dozları ile gübrelenen meradan elde edilen otların organik madde ve ham proteinlerinin *in situ* rumen parçalanabilirliği. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2016; 33(3): 61-68.
- Korkmaz M. Adi fiğ (*Vicia Sativa* L.) ve arpa (*Hordeum Vulgare* L.) karışımında farklı dozlarda P ve N uygulamalarının ot verimi ve kalitesine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, 2016.
- Lacefield GJ., Henning C., Collins M., Swetnam DL. Quality hay production. Cooperative Extension Service, Univ. Kentucky, Coll. Agric., Agr 1999; 62(3): 1-4.
- Lanyasunya TP., Rong WH., Mukisira EA., Abdulrazak SA., Ayako WO. Influence of manure and inorganic fertilizer on yield and quality of *Vicia villosa* intercropped with *Sorghum alnum* in Ol-joro-orok, Kenya. Livestock Research for Rural Development 2006; 18(10): <http://www.lrrd.org/lrrd18/10/lany18141.htm>
- Lee MJ., Hwang SY., Chiou PWS. Metabolizable energy of roughages in Taiwan. Small Rum. Resv 2000; 36: 251-259.
- Lin B., Wang JH., Lu Y., Liang Q., Liu JX. *In vitro* rumen fermentation and methane production are influenced by active components of essential oils combined with fumarate. J Anim Physiol Anim Nutr 2013; 97(1): 1-9.
- Lopez S., Makkar HPS., Soliva CR. Screening plants and plant products for methane inhibitors. In: Vercoe, P.E., Makkar, H.P.S., Schlink, A. (Eds): *In vitro* screening of plant resources for extra nutritional attributes in ruminants: Nuclear and related methodologies. Springer London, New York. pp. 191-231. 2010.
- Mariotti M., Masoni A., Ercoli L., Arduini I. Above and below ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in a cereal and legume intercropping system. Grass and Forage Science 2009; 64: 401-412.

- Menke KH., Raab L., Salewski A., Steingass H., Fritz D., Schneider W. The estimation of digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they incubated with rumen liquor *in vitro*. J Agric Sci 1979; 92: 217-222.
- Menke KH., Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development 1988; 28: 7-55.
- Moore JE., Undersander DJ. Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. pp. 16ile31. In: Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. January 10-11, University of Florida, Gainesville. 2002.
- Newman YC., Lambert B., Muir JP. Defining forage quality. The Texas A&M University System, U.S. Department of Agriculture, and the County Commissioners Courts of Texas Cooperating: Texas, SCS-09. 2006; 1-13.
- Özkan ÇÖ., Cengiz T., Yanık M., Evlice S., Selçuk B., Ceren B., Kamalak A. ruminant hayvan beslemede kullanılan bazı kaba ve kesif yemlerin *in vitro* gaz üretiminin, metan üretiminin, sindirim derecesinin ve mikrobiyal protein üretiminin belirlenmesi. Black Sea Journal of Agriculture 2020; 3(1): 56-60.
- Rivera D., Parish J. Interpreting forage and feed analysis report. 2620, Mississippi State University. 2010.
- Rosser CL, Gorka P., Beattie AD., Block HC., Mckinnon JJ., Lardner HA., Penner GB. Effect of maturity at harvest on yield, chemical composition, and in situ degradability for annual cereals used for swath grazing. J. Anim. Sci 2013; 91: 3815-3826.
- Rustas BO., Bertilsson J., Martinsson K., Elverstedt T., Nadeau E. Intake and digestion of wholecrop barley and wheat silages by dairy heifers. J. Anim. Sci 2011; 89: 4131-4141.
- Salam HSA., Zeid MMK. Hay quality evaluation of summer grass and legume forage monocultures and mixtures grown under irrigated conditions. AJCS 2016; 10(11): 1543-1550.
- Sarunaite L., Deveikyte I., Kadziuliene Z. Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. Zewdirbyste-Agriculture 2010; 97: 51-58.
- Schut A., Gherardi S., Wood D. Empirical models to quantify the nutritive characteristics of annual pastures in south-west Western Australia. Crop and Pasture Science 2010; 61: 32-43.
- Seo JK., Yang J., Kim HJ., Upadhaya SD., Cho WM., Ha JK. Effects of synchronization of carbohydrate and protein supply on ruminal fermentation, nitrogen metabolism and microbial protein synthesis in Holstein steers. Asian Australas. J. Anim. Sci 2010; 23: 1455-1461.
- Sevim B., Ayaşan T., Kaliber M., Mizrak C., Ergül Ş., Ülger İ., Aykanat S., Ucak AB. Effect of varieties on potential nutritive value of barley using *in vitro* methods and gas production technique. 8th International Balkan Animal Science Conference (BALNIMALCON 2017), 6-8 September 2017, Prizren, Kosovo.
- Şeker E. The determination of the energy values of some ruminant feeds by using digestibility trial and gas test. Revue Med. Vet 2002; 153(5): 323-328.

- Temel S., Şurgun N. Farklı dozlarda uygulanan azot ve fosforlu gübrelemenin kinoa'nın ot verimi ve kalitesine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 9(3): 1785-1796.
- Türk M., Alagöz M. The effects of different nitrogen fertilization and harvesting stages on forage yield and quality of phacelia (*Phacelia tanacetifolia* Bentham). *Journal of the Faculty of Agriculture* 2019; 14(2): 286-293.
- Thang CM., Winding S., Hang LT. Effects of different foliages and drying methods on mitigation methane production based on cassava root meal using *in vitro* gas production. *J Anim Sci Technol* 2012; 34: 40-50.
- Trotter DJ., Johnson KD. Forage-testing: why, how, and where, Purdue Univ. Cooperative Extension Service, 1992; 337.
- Uludere EIE. Farklı gelişme dönemlerinde bazı arpa hasılıının besin madde içeriği ve sindirilebilir organik madde miktarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Tekirdağ. 2019.
- Van Dyke NJ., Anderson PM. Interpreting a forage analysis. Alabama cooperative extension. 2000; Circular ANR-890.
- Van Soest PJ., Robertson JB., Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci* 1991; 74, 3583-3597.
- Ward R., Ondarza MB. Relative feed value (RFV) vs. relative forage quality (RFQ, Cumberland Valley Analytical Services, INC. Hagestown, MD, Paradox Nutrition, LLC, West Chazy, NY. 2008.
- Yıldırım S., Parlak AÖ. Tritikale ile bezelye, bakla ve fiğ karışım oranlarının belirlenerek yem verimi ve kalitesine etkileri. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg* 2016; 4(1): 77-83.
- Yolcu H., Serin Y. The effects of nitrogen and phosphorus fertilization and seeding patterns on chemical composition of lucerne and smooth brome grass intercropping system. *Asian J. Chem* 2009; 21: 1460-1468.
- Yörük N. Bursa koşullarında yetiştirilen adi fiğ-tritikale karışımında farklı azotlu ve fosforlu gübre dozlarının ot verimi ile ot ve silaj kalitesi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Bursa. 2019.
- Yuksel O., Turk M. The effects of phosphorus fertilization and harvesting stages on forage yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.). *Fresenius Environmental Bulletin* 2019; 28(5): 4165-4170.
- Zhang T., Ramakrishnon R., Livny M. Birch: An efficient data clustering method for very large databases. *Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data*, 1996; 103-114.



Meme Kanserinin K-Ortalama Kümeleme ve Otsu Eşikleme Segmentasyon Yöntemleri İle Teşhisi*

Aslı Canan KUŞCU^{1**}, Halil EROL²

^{1,2}Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering, Department of Electric and Electronics, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0001-8116-467X>

²<https://orcid.org/0000-0001-6171-0362>

**Corresponding author: aslikuscu.1994@gmail.com

*This article is derived from the first author's graduate study.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 12.09.2021

Kabul tarihi:20.12.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Mamografi

Görüntü işleme

K ortalama kümeleme

Otsu eşikleme

Performans metrikleri

ÖZ

Meme kanseri, kadınlar arasında büyük oranda artış göstermiştir. Ancak erken teşhisiyle, tedaviye olumlu cevap verilebilmektedir. Araştırmacılar, hastalığı erken ve doğru tespit edebilme adına görüntüleme yöntemlerinde çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmada; TCİA görüntü veri bankasından alınan 9 kanserli görüntüde K ortalama kümeleme ve otsu eşikleme yöntemi ile tümör tespiti yapılmıştır. Radyolog tarafından işaretli referans görüntüleri ile (ground truth) ile karşılaştırarak, başarımlar (performans) metrikleri değerlendirilmiştir. Kümeleme işlemi için sırasıyla TPR (Doğru Pozitif Oranı) 0.89, FPR (Yanlış Pozitif Oranı) 0.14, benzerlik 0.67, doğruluk 0.87, duyarlılık 0.89, hassasiyet 0.86, özgüllük 0.87, F puanı 0.87 bulunmuştur. Otsu için TPR (Doğru Pozitif Oranı) 0.84, FPR (Yanlış Pozitif Oranı) 0.12, benzerlik 0.73, doğruluk 0.84, duyarlılık 0.84, hassasiyet 0.86, özgüllük 0.87, F puanı 0.84 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, daha az veri kümesi ile daha kısa sürede, görüntü işleme yöntemlerini kullanarak, piksel tabanlı segmentasyon ile tümör sınırlarının daha doğru belirlenmesi, insana duyulan ihtiyacın azalması ve sağlık alanında sahada görüntüleme kullanılan tıbbi cihazların bilgisayar destekli yazılımlarla geliştirilmesi, mamografik tarama sistemlerinin doğru ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, her iki yöntem de başarılı, sahada kullanılabilir ve birbirine yakın başarımlar değerleri bulunmuştur.

Diagnosis of Breast Cancer by K-Mean Clustering and Otsu Thresholding Segmentation Methods

Research Article/Reviews

Article History:

Received: 12.09.2021

Accepted: 20.12.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Mammography

Image processing

K-mean clustering

Otsu threshold

Performance metrics

ABSTRACT

Breast cancer has increased decidedly among women. But with early diagnosis, a positive response to treatment can be given. Researchers are conducting various studies in imaging methods to detect the disease early and accurately. In this study, 9 cancerous images taken from the TCİA image data bank were detected by K-mean clustering and the Otsu threshold method. Performance metrics were evaluated by comparing them with marked reference images (ground truth) by the radiologist. For the clustering process, TPR (True Positive Rate) 0.89, FPR (False Positive Rate) 0.14, similarity 0.67, accuracy 0.87, sensitivity 0.89, exact hit ratio 0.86, specificity 0.87, F Score 0.87 were found, respectively. For Otsu, TPR (True Positive Rate) 0.84, FPR (False Positive Rate) 0.12, similarity 0.73, accuracy 0.84, sensitivity 0.84, exact hit 0.86, specificity 0.87, F Score 0.84 were calculated. The aim of this study is to determine the tumor boundaries more accurately and to use them in imaging devices in the field of health with

pixel-based segmentation. As a result, both methods were successful can be used in the field and close to each other.

To Cite: Kuşçu AC., Erol H. Diagnosis of Breast Cancer by K-Mean Clustering and Otsu Thresholding Segmentation Methods. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):258-281.

Introduction

Breast cancer is the most common cancer in women worldwide. According to the American Cancer Society (ACS) report, approximately 2.6 million women have been diagnosed with invasive breast cancer, and approximately 40.000 women have died in 2020 (Cancer Facts and Figures, 2020). 13% of cancers in Canada are breast cancer. An increase of 25% was observed in women and 1% in men (Canadian Cancer Statistics Advisory Committee, 2018; Toronto, 2018). In Chinese women, it is twice as high as the global rate (Sun et al., 2018).

The causes of breast cancer are often explained by uncontrolled malignant growth, although in some cases they remain unclear. Growth usually begins in the cells in the breast tissues, which can be managed or controlled at a certain level, without causing any problems in a healthy and normal state. In the case of breast cancer, it is impossible to control the regeneration and growth of cells. As soon as the repair does not take place, the final mutations proceed with the formation of a cancer tumor. After a cancer tumor has formed, the tumor increases in size and the patient begins to show other complications. The stage of tumor evolution varies from person to person. Other health parameters play an important role for each individual. Also, family history is considered an effective possibility for the genetic transmission of breast cancer. As well as late diagnosis, obesity, early or late menopause, have never given birth, fibrocystic diseases, the presence of abnormal cells, and the possibility of receiving hormone therapy are important factors in the formation of breast cancer.

These lesions typically have a size in diameter due to their very small sizes, microcalcifications can be quite difficult to detect. In general, benign calcifications come in uniform sizes with round or large elliptical shapes, but non-uniform, small, polymorphic, and spreading calcifications with heterogeneous volume and morphology have a higher chance of becoming malignant (Tan et al., 2020). Some anatomical structures, such as fibrous strands, breast borders, or hypertrophic lobules, are also similar to microcalcifications in the mammographic image. Their presence in the chest area can vary, and they can usually be distinguished by their bright color. On the other hand, these lesions can be different in size and shape, and their distribution may vary from patient to patient. Sometimes, because of the difference in density between suspicious spots and the area surrounding these lesions decays, low contrast in their color may be observed. Also, the proximity to the surrounding tissues can cause difficulty in their detection. In dense tissues, suspicious areas cannot be detected due to tissue overlap (Sankar and Thomas, 2010; Rao and Sannapareddy, 2021).

Masses appear as dense zones of different characteristics and volumes. They can be lobular, circular, oval, or non-uniform/speculated. They are well defined and distinctly delimited. Previous studies have shown that, depending on the morphology, masses usually have several chances of malignancy. For

example, speculated and ill-defined boundaries are more likely to be malignant (Akay, 2006; Azhar, 2021). The presence of elliptical or circular masses is a sign of benign. Studies show that the large variability of mass appearance is a challenge because it is an obstacle to accurate mammography analysis (Mini and Thomas, 2003).

The normal configuration of the parenchyma is irregular, diffuse, without a visible center or mass, architectural defects are pronounced. It is very difficult to find them because they are very variable (Naranjo and Reymbaut, 2021). In addition to benign vascular calcifications, the classic “popcorn” for involutonal fibro adenomas shows two well-defined masses containing calcifications (Gunderman, 2006; Schöenberger and Hejduk, 2021)

Detection of breast cancer in the very early stages is a very important advantage. Early detection with proper medical treatment and assistance can save tens of thousands of women's lives every year. Currently, there is no effective way to prevent breast cancer. However, successful early detection can play an important role in improving treatment options and patient survival before cancer spreads to other parts of the body (Birdwell et al., 2001; Manraj et al., 2021)

There are different imaging methods in the diagnosis of cancer; these are mammography, thermography, ultrasound imaging, and histopathology. Mammography is a traditional technique for diagnosing breast cancer. Image processing, on the other hand, is transforming the image into digital form for various purposes. Different techniques can be used in image processing. K-means clustering and the Otsu thresholding technique were used in this study. The previous studies on this topic are shown in Table 1.

Table 1. A review of the relevant literature on the subject has been conducted and is given in the tabular form.

The researcher	Year	The method he uses	Performance measurements
Podgornova and Sadykov	2019	Segmentation of the Basin, Mean Drift, and k Mean Clustering	In this study, 57.2% of error detection results were found.
Kaur and Singh	2019	K-Mean Clustering for Accelerated Robust Features (SURF) Selection	The average accuracy rates of the three classes using the proposed method, namely, normal, benign, and malignant cancers, were found to be 95%, 94%, and 88%, respectively.
Sadeghi et al.	2018	Histogram Diagram for Calculating the Initial Threshold	A sensitivity of 96.7% and a false positive result of 0.79 were found.
Andrik	2017	Edge-Free Active Contour Models for Investigating the Real Boundary	An accuracy rate of 82.33% has been achieved.
Ciecholewski	2017	A Computer-Aided Method for Segmenting Micro-Calcifications on Mammograms Using Morphological Transformations	A similarity index of 80.5%, an overlap ratio of 75.7%, an overlap value of 70.8%, and a difference of 19.8% were found.

Materials and Method

This study aims to design a fully automated, computer-aided diagnosis (CAD) algorithm for manually segmented breast cancer images.

Data Base and Used Programs

The Cancer Imaging Archive (TCIA) is a service that de-identifies and hosts a large publicly available archive of medical images of cancer. TCIA is funded by the Cancer Imaging Program (CIP), a part of the United States National Cancer Institute (NCI), and is managed by the Frederick National Laboratory for Cancer Research (FNLCR).

The imaging data are organized as “collections” defined by a common disease, image modality or type (CT, MRI, etc) or research focus. Dicom is the primary file format used by TCIA for radiology imaging. An emphasis is made to provide supporting data related to the images such as patient outcomes, treatment details, and expert analyses.

Matlab is a programming and numeric computing platform used by millions of engineers and scientists to analyze data, develop algorithms, and create models. Matlab combines a desktop environment tuned for iterative analysis and design processes with a programming language that expresses matrix and array mathematics directly. It includes the Live Editor for creating scripts that combine code, output, and formatted text in an executable notebook. In this study, the editor and workspace pages of the Matlab program were mainly used.

In this study; to distinguish the diseased and healthy breast tissue images from each other quantitatively, 9 cancerous breast images with the least noise were taken from the Tcia (The Cancer Imaging Archive) database. When triple clustering and Otsu were applied to 9 images, the number of analyzed images was 36. 8-bit gray-level images in different pixels were obtained by opening the data in Dicom format in the Matlab environment.

The explanation of the methods used in the study and the performance metrics of the related methods are given below. The method consists of 4 main stages:

In Stage 1, the unnecessary parts were cropped, the contrast was ensured to be in a certain range, the intensity was normalized and the noise generating regions were cleared. Thus, the image was ready for use (Image pre-processing).

In Stage 2, breast tumors were segmented. The specifications used for segmentation could not be specified with strict boundaries. Because the method to be chosen depended largely on the tumor type, class, and subdivision. This difference was also reflected in the image. Image density was used in the study. Because different tissues had different gray levels.

In the breast mammography image, the hollow structures were black, the filled structures were white, and the gray parts were the pectoral muscles and soft tissues. Since the breast tissue had a hollow structure in general, the parts to be segmented manually were the parts that were displayed as white tumors. Images were fed into Matlab by using the `dicomread` function of the compiler's image

processing library (Khan and Ahmad, 2004; Kaur, 2017). Tumor edge detection was performed with a canny filter. This process was performed for each cell of the breast image and two mask values were obtained. The mask values obtained were passed through the morphology with the imopen and bwareaopen functions, and manually segmented images were obtained. Manually segmented images (ground truth) were binary images because they consisted of mask images.

In stage 3, clustering and Otsu threshold segmentation algorithms were applied. K was determined as K=3, 4, and 5 by mean clustering algorithms. A clustering-independent Otsu threshold was then applied to the same images. Groundtruth reference images were compared (Table 3). Normally segmentation is used to analyze regions of different densities, but here it is used to determine tumor presence and to extract tumor location.

In stage 4, the performance metrics of the tumor detection algorithms were calculated on the compared images (Table 13-14). TP, TN, FP, FN, FPR, TPR, similarity, accuracy, sensitivity, precision, specificity, F score were the performance metrics used in our study and measure the success of background and tumor differentiation. TP, TN, FP, FN were in pixels. The algorithm we use has been analyzed whether it is reliable and usable according to these metrics. Now let's tell about the details of these stages.

K -Means Clustering

K-means clustering is a clustering technique that can group large amounts of data with a relatively fast and more efficient processing time (Das, 2008). Similarities or closeness between data is expected. Thus, it can be divided into multiple clusters where a high degree of similarity between cluster points can be achieved (Shokrgozar and Sobhani, 2016). K tools are very simple, easy to measure the distance, and based on iteration termination requirements. K-means clustering is a local optimization, so it is sensitive to the first data point collection from the midpoint of each cluster (Khan and Ahmad, 2004). The purpose of these adjustments is to achieve the best accuracy and fastest convergence. Also, choosing the starting position from the midpoint of a cluster places the K-means clustering algorithm in the optimal position (Kaur, 2017). The K-means clustering method randomly chooses the style from the center to k as the starting point (Yang and Sinaga, 2019). The iteration number with the cluster centroid is affected by the first randomly set cluster centroid (Lin and Ji, 2020). Therefore, it can be fixed to achieve higher performance by identifying the cluster centroid at high baseline data points (Aswathy and Jagannath, 2020). Since K-means clustering is usually applied, the data point $\{x_1, \{x_2, \dots, x_n\}$ is grouped into k clusters. It has high-performance computation and can handle multi-dimensional vectors (Çiklaçandır et al., 2019; Bottou and Lin, 2007). Thus, it reduces the extent of distortion, increasing accuracy. $X_i(j)$ is a chosen measure of the distance between the data point and the cluster center, c_j is a measure of the distance between the n data points and their respective cluster centers (Tang, 2019). This correlation is shown in Eq.1.

$$x_i(j) - c_i(j)^2 \tag{1}$$

1. K points are placed in the area represented by the clustered objects and these points represent the first centroids.
2. Each object group is assigned to the category with the closest center.
3. The locations of the k centroids to which all objects will be allocated are recalculated.
4. Steps 2 and 3 are repeated until the centroids move.

This causes the objects to be divided into groups from which the metric to be minimized can be calculated (Katz and Barness, 2015).

The K-means clustering algorithm is also versatile. There are two known tool clustering algorithms: the first requires a predefined cluster starting number k centroid as a prerequisite parameter for clustering, but generally, without prior knowledge, the best initial clustering number that a dataset can produce is unknown. The other feature is that each point is connected to the nearest cluster (Bottou and Lin, 2007; Tang et al., 2019). The pseudocode of the K-means clustering algorithm is shown in Figure 1.

<p>Start: Open image.</p> <p style="padding-left: 40px;">Crop the image.</p> <p style="padding-left: 40px;">Assign K-means number of centers (number of clusters).</p> <p style="padding-left: 40px;">Calculate the number of centers using the mean values.</p> <p style="padding-left: 40px;">Assign the mean value for each center.</p> <p>End: Save new image.</p>
--

Figure 1. Pseudo code

Otsu Thresholding

This algorithm is based on the maximum inter-class variance between the background and the target image as the threshold selection rule. It separates the image into foreground and background based on its grayscale properties. When the best threshold is taken, the difference between the two parts is the largest. Since variance is an important measure of the uniform gray distribution, the larger the variance value, the greater the difference between the two parts of the graph. If some targets are erroneously divided into backgrounds, or if some backgrounds are divided into targets, the difference between the two parts becomes smaller. Therefore, as long as the variance between clusters is maximized, the possibility of misclassification will be minimized and thus perfect segmentation of an image will be achieved (Mittal and Saraswat, 2018). The Otsu threshold value of each image of the study is shown in Table 1.

The basic principle of threshold segmentation based on Otsu is as follows: Assuming that the range of grayscale of the image is $i = 0, 1, \dots, L - 1$ and the pixel number with grayscale k is n_k , then the total number of pixels k in an image is shown in Equation 2.

$$N = \sum_{k=0}^{L-1} n_k = n_0 + n_1 + \dots + n_{L-1} \quad (2)$$

The probability of occurrence of gray level k is shown in Equation 3.

$$P_k = \frac{n_k}{N} = \frac{n_k}{\sum_{k=0}^{L-1} n_k} \quad (3)$$

The gray level threshold t can be used to divide the gray level of an image into two parts:

$C_0 = (0,1,2,\dots, t)$, $C_1 = (t + 1, t + 2,\dots, L-1)$, then the probability and mean of the class C_0 and C_1 are as follows:

The probability P is calculated separately for each pixel value, as in Eq. 4. There is the following relationship between them:

$$u_t = \sum_{i=0}^{L-1} iP_k \quad (4)$$

For any value of t , equation is expressed as in 5,6.

$$w_0u_0 + w_1u_1 = u_t \quad (5)$$

$$w_0 + w_1 = 1 \quad (6)$$

w_0 = Probability of class 1 (separated by threshold), w_1 = Probability of class 2 (separated by threshold),

u_0 = class mean u_0 , u_1 = class mean u_1

Eq.5, compute sigma variance (between class)

Eq.6, the desired threshold corresponds to the maximum variance of between classes.

When summing the variances of C_0 and C_1 , equation is expressed as in 7,8.

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^t (i - u_0)^2 P_k / w_0 \quad (7)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{(i - u_1)^2 P_k}{w_1} \quad (8)$$

The inter-class variance is defined Eq.9.

$$\sigma_{w_1}^2 = w_0\sigma_0^2 + w_1\sigma_1^2 \quad (9)$$

w_0 and w_1 = They are probabilities of two classes divided by a threshold.

The population's inter-class variance is defined Eq.10.

$$\sigma_T^2 = \sigma_B^2 + \sigma_W^2 \quad (10)$$

Introduction of decision criteria on t is defined Eq.11.

$$w_0 = P_r(C_0) = \sum_{r=0}^t p_k = w(t) \quad (11)$$

$$w_1 = P_r(C_1) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_k = 1 - w(t) \quad (12)$$

$$u_0 = \sum_{i=0}^t iP_k / w_0 = u_t / w(t) \quad (13)$$

$$u_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{iP_k}{w_1} = \frac{u_T - u(t)}{1 - w(t)} \quad (14)$$

$$\partial(t) = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2} \quad (15)$$

$$\sigma(t) = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \quad (16)$$

$$K(t) = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2} \quad (17)$$

Through analysis, it is not difficult to see that the above three criteria are equivalent to each other. They all regard the best value t separated from the class C_0 and C_1 as the best threshold value. Therefore, $\partial(t)$, $\sigma(t)$, $K(t)$ are recognized as the maximum judgment criterion. Because, σ_B^2 is the statistical characteristics based on the first order, while, σ_w^2 and σ_B^2 are the functions of the threshold value t , so it is the simplest to choose $\sigma(t)$ of the three as the criterion, and the best threshold value t^* can be obtained as a range with in shown Eq.19.

$$t^* = \arg_{0 \leq t \leq L-1} \max \sigma(t) \quad (18)$$

From the above deduction, it can be seen that when σ_B^2 is the maximum value, the best threshold value t^* of t can be obtained.

Performance Metrics

Performance analysis is the determination of the accuracy of tumor detection algorithms.

TP (True Positive): It is the result found if the tumor region is labeled as “Tumor” in the segmentation process. It is shown in white in our study.

TN (True Negative): It is the result found if the non-tumor region is not labeled as “Tumor” in the segmentation process. It is shown in black in our study.

FP (False Positive): It is the result found if the tumor region is not labeled as “Tumor” in the segmentation process. It means the wrong guess. It is shown in green in our study.

FN (False Negative): It is the result found if the non-tumor region is labeled as “Tumor” in the segmentation process. It means the wrong guess. It is shown in pink in our study.

This information alone may not be meaningful. Performance metrics are calculated using their values.

Values ranging from [0, 1] are used to quantify the performance of the algorithms. Formulas for some performance metrics are given in shown Eq.20-27.

$$\text{TPR(True Positive Rate)} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FN}} \quad (19)$$

$$\text{FPR(False Positive Rate)} = \frac{\text{FP}}{\text{FP+TN}} \quad (20)$$

$$\text{Similarity(Jaccard)} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FP+FN}} \quad (21)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP+TN}}{\text{TP+FP+FN+TN}} \quad (22)$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FP}} \quad (23)$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FN}} \quad (24)$$

$$\text{Specificity} = \frac{\text{TN}}{\text{FP+TN}} \quad (25)$$

$$\text{F Score} = \frac{2 * \text{TP}}{2 * \text{TP} + \text{FP} + \text{FN}} \quad (26)$$

Confusion Matrix

A confusion matrix is a table that is often used to describe the performance of a classification model (or "classifier") on a set of test data for which the actual values are known. The values TP, TN, FP, and FN are transferred to a table defined as a Confusion Matrix or "Error Matrix". This table contains the accuracy of the prediction results given by a given classifier on a given data set in a two-class data set. It is divided into 2 groups, namely, what actually happened and what was predicted. The predicted class is with tumors, the real class is without tumors. These statements are shown in a table in Table 2.
















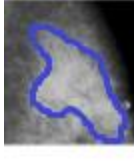

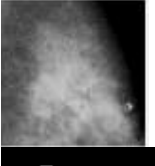

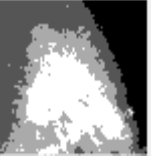


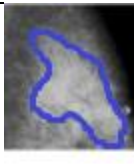














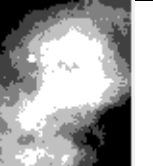

Table 2. Confusion Matrix

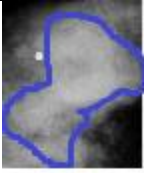









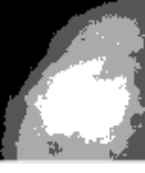
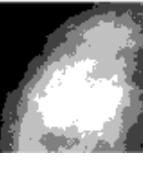

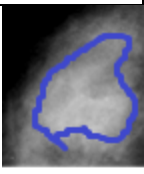









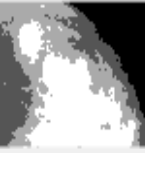
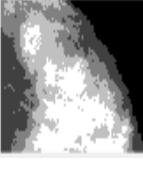







Confusion Matrix		Estimated	
		No	Yes
Real Value	No	True Negative, TN	False Positive, FP
	Yes	False Negative, FN	True Positive, TP

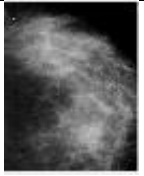
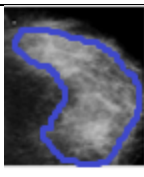




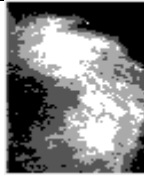

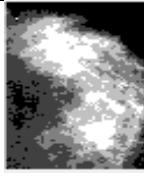




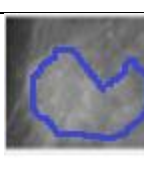






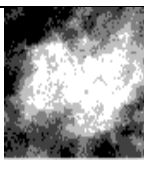




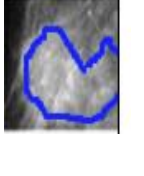









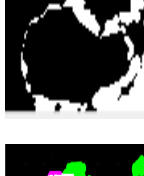
Results

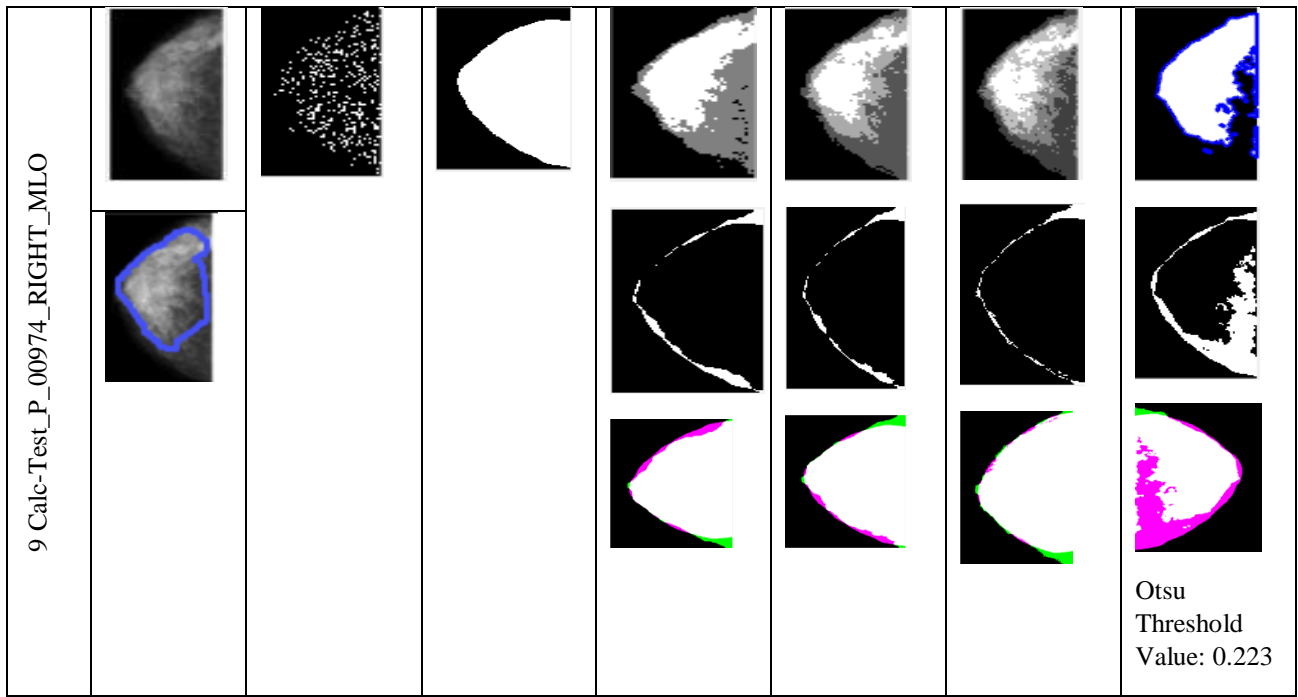
Clustering and Otsu thresholding were applied to the images. The 36 images and difference areas of the processes are shown in Table 3. The lesion sample marking via mammography image was shared as a binary image by the radiologist in the column titled "ground truth".

Table 3. Area representation of images

Image No	Original Image	Canny filter	Ground Truth	K=3	K=4	K=5	Otsu Threshold
1 Calc-Test_P_00100_R211							
							
							
							Otsu Threshold Value: 0.400
2 Calc-Test_P_00202_RIGHT							
							
							
							Otsu Threshold Value: 0.384
Training_P_00214_RIGHT_CC							

							  Otsu Threshold Value: 0.376
4 Calc-Test_P_00368_LEFT_CC							
							  Otsu Threshold Value: 0.329
5 Calc-Test_P_00608_LEFT_MLO							
							  Otsu Threshold Value: 0.298

6 Calc-Test_P_00678_LEFT_CC	 			 	 	 	  <p>Otsu Threshold Value: 0.305</p>
7 Calc-Test_P_00876_LEFT_MLO	 			 	 	 	  <p>Otsu Threshold Value: 0.545</p>
8 Calc-Test_P_00906_LEFT_MLO	 			 	 	 	  <p>Otsu Threshold Value: 0.415</p>



According to the images obtained after clustering and Otsu thresholding, it was observed that the tumor borders became clearer as the number of clusters increased. The white region in the table represents TP, the black region represents TN, the pink region represents FN, and the green region represents FP. These statements are shown in Tables 13,14.

Table 4. Image 1 Confision Matrix

Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted /Actually Happenin g	Positive	Negative	Predicted /Actually Happe- nig	Positive	Negative
Positive	TP 584287	FN 38193	Positive	TP 616683	FN 65522	Positive	TP 604262	FN 54167	Positive	TP 658236	FN 30394
Negative	FP 77458	TN 584062	Negative	FP 45062	TN 556733	Negative	FP 57483	TN 568088	Negative	FP 3509	TN 445311

Table 5. Image 2 Confision Matrix

Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 588778	FN 119194	Positive	TP 699789	FN 180354	Positive	TP 764792	FN 221313	Positive	TP 737356	FN 206171
Negative	FP 235191	TN 1009638	Negative	FP 124180	TN 948478	Negative	FP 59177	TN 907519	Negative	FP 86613	TN 922661

Table 6. Image 3 Confision Matrix

Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 300444	FN 17147	Positive	TP 394900	FN 38760	Positive	TP 428464	FN 56404	Positive	TP 418954	FN 52831
Negative	FP 164293	TN 277476	Negative	FP 69837	TN 255863	Negative	FP 36273	TN 238219	Negative	FP 45783	TN 241792

Table 7. Image 4 Confision Matrix

Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 490374	FN 38003	Positive	TP 643461	FN 164741	Positive	TP 563416	FN 90054	Positive	TP 682765	FN 225540
Negative	FP 235111	TN 824096	Negative	FP 82024	TN 697358	Negative	FP 162069	TN 636550	Negative	FP 42720	TN 636550

Table 8. Image 5 Confision Matrix

Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 783234	FN 53727	Positive	TP 919601	FN 200614	Positive	TP 959719	FN 258679	Positive	TP 975775	FN 289985
Negative	FP 253995	TN 1084164	Negative	FP 117628	TN 937277	Negative	FP 77510	TN 879212	Negative	FP 61454	TN 847906

Table 9. Image 6 Confision Matrix

Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 3440922	FN 245964	Positive	TP 3710296	FN 626815	Positive	TP 3325024	FN 275105	Positive	TP 3052316	FN 164850
Negative	FP 524125	TN 3429014	Negative	FP 254751	TN 3048163	Negative	FP 640023	TN 3399873	Negative	FP 912731	TN 3510128

Table 10. Image 7 Confision Matrix

Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 48623	FN 4197	Positive	TP 44537	FN 1973	Positive	TP 45383	FN 2484	Positive	TP 41568	FN 340

Negative	FP 5506	TN 50010	Negative	FP 9592	TN 52234	Negative	FP 8746	TN 51723	Negative	FP 12561	TN 53867
----------	------------	-------------	----------	------------	-------------	----------	------------	-------------	----------	-------------	-------------

Table 11. Image 8 Confision Matrix

Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 90553	FN 5035	Positive	TP 115638	FN 11833	Positive	TP 110090	FN 10191	Positive	TP 128076	FN 63628
Negative	FP 43636	TN 182076	Negative	FP 18551	TN 175278	Negative	FP 24099	TN 176920	Negative	FP 6113	TN 123076

Table 12. Image 9 Confision Matrix

Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative	Predicted/ Actually Happening	Positive	Negative
Positive	TP 2288415	FN 65401	Positive	TP 2326918	FN 76170	Positive	TP 2393806	FN 108358	Positive	TP 1646286	FN 30394
Negative	FP 140778	TN 1897707	Negative	FP 102275	TN 1886938	Negative	FP 35387	TN 1854750	Negative	FP 782907	TN 1932714

Table 13. Performance metrics of processes

No		Number of Clusters	FN (Pixel, False Negative)	FP (Pixel, False Positive)	TN (Pixel, True Negative)	TP (pixels, True Positive)	TPR (True Positive Rate)	FPR (False Positive Rate)	Similarity	Accuracy	Sensitivity	Precision	Specificity	F score	Duration (sec)
1	Cluster	K=3	53111	66281	569144	595464	0.91	0.10	0.83	0.90	0.91	0.89	0.89	0.90	3.71
		K=4	65522	45062	556733	616683	0.90	0.07	0.84	0.91	0.90	0.93	0.92	0.91	
		K=5	54167	57483	568088	604262	0.91	0.09	0.84	0.91	0.91	0.91	0.90	0.91	
	Otsu	Otsu	176944	3509	445311	658236	0.78	0.01	0.78	0.85	0.78	0.99	0.99	0.87	0.50
2	Cluster	K=3	119194	235191	1009638	588778	0.83	0.18	0.62	0.81	0.83	0.71	0.81	0.76	4.56
		K=4	180354	124180	948478	699789	0.79	0.11	0.69	0.84	0.79	0.84	0.88	0.82	
		K=5	221313	59177	907519	764792	0.77	0.05	0.73	0.85	0.77	0.92	0.93	0.84	
	Otsu	Otsu	206171	86613	922661	737356	0.78	0.08	0.71	0.85	0.78	0.89	0.91	0.83	0.63
3	Cluster	K=3	764792	32279	222240	432458	0.85	0.12	0.80	0.86	0.85	0.93	0.87	0.89	2.82
		K=4	34907	85716	259716	379021	0.91	0.24	0.75	0.85	0.91	0.84	0.78	0.87	
		K=5	38240	79691	256383	385046	0.90	0.23	0.82	0.87	0.90	0.92	0.86	0.90	
	Otsu	Otsu	41250	58012	253373	406725	0.90	0.18	0.76	0.84	0.90	0.90	0.81	0.89	0.38
4	Cluster	K=3	38003	235111	824096	490374	0.92	0.22	0.64	0.82	0.92	0.67	0.77	0.78	4.60
		K=4	164741	82024	697358	643461	0.79	0.10	0.72	0.84	0.79	0.88	0.89	0.83	
		K=5	90054	162069	772045	563416	0.86	0.17	0.69	0.84	0.86	0.77	0.82	0.81	
	Otsu	Otsu	225549	42720	636550	682765	0.75	0.06	0.71	0.83	0.75	0.94	0.93	0.83	0.64
5	Cluster	K=3	53727	253995	1084164	783234	0.93	0.18	0.71	0.85	0.93	0.75	0.81	0.83	4.86
		K=4	209174	109907	928717	927322	0.81	0.10	0.74	0.85	0.81	0.89	0.89	0.85	
		K=5	258679	77510	879212	959719	0.78	0.08	0.74	0.84	0.78	0.92	0.91	0.85	
	Otsu	Otsu	289985	61454	847906	975775	0.77	0.06	0.73	0.83	0.77	0.84	0.83	0.84	0.68
6	Cluster	K=3	245964	524125	3429014	3440922	0.93	0.13	0.81	0.89	0.93	0.86	0.86	0.89	11.32
		K=4	626815	254751	3048163	3710296	0.85	0.07	0.80	0.88	0.85	0.93	0.92	0.89	
		K=5	275105	640023	3399873	3325024	0.92	0.15	0.78	0.88	0.92	0.83	0.84	0.87	
		Otsu	Otsu	164850	912731	3510128	3052316	0.94	0.20	0.73	0.85	0.94	0.76	0.79	0.84
7	Cluster	K=3	4197	5506	50010	48623	0.92	0.09	0.83	0.91	0.92	0.89	0.90	0.90	1.70
		K=4	1973	9592	52234	44537	0.95	0.15	0.79	0.89	0.95	0.82	0.84	0.88	
		K=5	2484	8746	51723	45383	0.94	0.14	0.80	0.89	0.94	0.83	0.85	0.88	
	Otsu	Otsu	340	12561	53867	41568	0.99	0.18	0.76	0.88	0.99	0.76	0.81	0.81	0.26
8	Cluster	K=3	5035	43636	182076	90553	0.94	0.19	0.65	0.84	0.94	0.67	0.80	0.78	2.04
		K=4	11833	18551	175278	115638	0.90	0.09	0.79	0.90	0.90	0.86	0.90	0.88	
		K=5	10191	24099	176920	110090	0.91	0.11	0.76	0.89	0.91	0.82	0.88	0.86	
	Otsu	Otsu	63628	6113	123483	128076	0.66	0.04	0.64	0.78	0.66	0.75	0.85	0.78	0.30
9	Cluster	K=3	65401	140778	1897707	2288415	0.97	0.06	0.91	0.95	0.97	0.94	0.93	0.95	9.38
		K=4	76170	102275	1886938	2326918	0.96	0.05	0.92	0.95	0.96	0.95	0.94	0.96	
		K=5	108358	35387	1854750	2393806	0.95	0.01	0.94	0.96	0.95	0.98	0.98	0.97	
	Otsu	Otsu	30394	782907	1932714	1646286	0.98	0.01	0.66	0.81	0.98	0.67	0.71	0.80	1.11

Table 14. Mean process performance metrics

	TPR	FPR	Similarity	Accuracy	Sensitivity	Precision	Specificity	F score
Clustering Mean Performance Metrics	0.89	0.14	0.77	0.87	0.89	0.86	0.87	0.87
Otsu Threshold Mean Performance Metrics	0.84	0.12	0.73	0.84	0.84	0.86	0.87	0.84

Discussion and Conclusion

In this study, a fully automated computer-aided diagnosis (CAD) algorithm was designed for manually segmented breast cancer images. When the number of clusters was selected as 3, the pixels were seen in white, black, and gray tones. When 4 and 5 were selected, they were divided into black, white, and different shades of gray. It was seen only in the black and white (binary) form in Otsu. Images from the database were marked by the expert radiologist. Ground truth (reference images) and tumor region images obtained as a result of clustering and the Otsu threshold process were compared. Performance metrics were used to determine segmentation performance. In performance measurement metrics, means were compared to make an overall comparison for 36 images. For the clustering process, TPR was 0.89, FPR was 0.14, the similarity was 0.67, accuracy was 0.87, sensitivity was 0.89, specificity was 0.86, F score was 0.87. For Otsu, TPR was 0.84, FPR was 0.12, the similarity was 0.73, accuracy was 0.84, sensitivity was 0.84, specificity was 0.86, F score was 0.84. Both methods were found to be successful and close to each other.

FP (False Positive) is pixels that cannot be monitored as a radiologist's tumor section and were actually seen as tumors (in software) and were shown in green. For FN (False Negative); working as a radiologist tumor zone was the part that was not actually seen as a tumor zone (in software). These encounters of his appearance were made pixel by pixel. This study aimed to reduce a radiographic error in examinations of cancerous tissue in patients diagnosed with breast cancer, which can be better determined with software. In the name of dividing into benign(benign) and malignant(malignant) tumor; determining the boundaries of the cancerous lesion was important for patients diagnosed with breast cancer who went to routine check-ups with short periods of time, comparing with previous tumor exams, whether the tumor was benign or malignant, and the course of treatment was before the opening.

With a slight difference, it can be said that the clustering algorithm was more suitable and usable in terms of tumor detection. In addition, it can be given among its other advantages that it showed the pixel color toning in more detail, and the process was completed in a shorter time. On the other hand, the Otsu algorithm resulted in a much shorter time compared to the clustering algorithm. The tumor had also performed the results obtained in the determination of scientific data on the accuracy of criteria used in the studies are listed. These criteria were evaluated depending on the parameters TP, TN, FP, FN, the part that the radiologist marks as a tumor pixel by pixel, and the part that the software considers a tumor. In addition, coloring was done to distinguish it. The reason why it was made pixel-based was to minimize the error rate in the study.

Kapoor and Singhal compared K-Means, K-Means++, and Fuzzy C-Means clustering algorithms. Experimental results, similar to our study, showed that in case of an increase in the number of data points, the number of iterations, which greatly affects the cluster performance, was reduced, the duration was shortened, the fluctuations in the cluster center and the time complexity were reduced, in addition, the sum of the distance that changes the performance was minimized (Kapoor and Singhal,

2017). Dallali et al. (2018) found that the Otsu thresholding algorithm was less inaccurate and provided optimum performance with an accuracy of 98.83% in mammography images (Dallali et al., 2018). Similarly, in a study conducted with 36 patient data, the area and volumes obtained using K-means clustering and Otsu thresholding approaches on single or multi-section images were compared by a nuclear medicine specialist. As a result, it was observed that the Otsu thresholding algorithm was more selective (Tianwen et al., 2019). Malali et al. (2020), in their study, reached a 90% accuracy rate in mammography images with the K-means algorithm recommended in breast cancer (Malali et al., 2020). The recommended algorithm increased the sensitivity by 21%. While Aswathy and Jagannath (2020) obtained 91% accuracy based on SVM, it had 93% maximum segmentation accuracy with K-means clustering (Aswathy and Jagannath, 2020). K-means and Otsu thresholding were applied to mammogram images taken from MIAS. The results showed that the proposed methods were easy and high sensitivity of 92.93% was achieved with a high reduction in 1.98 FPPI (Aksebzeci, 2017). In the study of Dubey et al.(2018), the highest and lowest clustering accuracies were 94.7%, 77.1%, and 94.4%, 88.5% for fuzzy and random centroid, respectively. The accuracy obtained with this approach was approximately 92% (Dubey et al., 2018).

Bradley and Fayyad (1998) used the K-means algorithm to improve the starting points and achieved an acceptable low run time (Bradley and Fayyad, 1998). Similarly, Karen et al. (2021) used the K-means algorithm to improve groups and used colony optimization to improve cluster quality (Karen et al., 2021). Ghosh and Dubey (2013) presented the comparison between KM and FCM based on sample number and K. Experimental results showed that the K-means clustering algorithm was much better than FCM because it took more time to perform fuzzymeasurement calculations (Ghosh and Dubey, 2013).

Time complexity affected the outcome. Thus, there was no doubt that FCM produced results as good as those produced by KM results, but the time complexity was still relatively high. Banerjee et al. (2015) compared various variants of KM, bisecting KM, FCM, and genetic KM. Genetic KM performed best for both internal and external indices (Banerjee et al., 2015). On the other hand, Kaygisiz and Cakir (2020) achieved successful results with Otsu thresholding (Kaygisiz and Cakir, 2020).

In this study, it was aimed to create prototyping with a high success rate. More reliable results could be obtained with a richer data set. However, building a model was our main goal. In addition, we achieved high performance in a short time with our simple algorithm without the need for very complex processes. Our findings may prove that the algorithm can be used by doctors to diagnose breast cancer. This tool is more useful for areas far from urban or rural areas where medical professionals or oncologists may not be available. Thanks to advances in image acquisition and appropriate tools, the diagnosis can be confirmed using this system, serving the automated diagnosis of breast cancer.

However, in the study, images with a low accuracy rate were obtained as well as images with high accuracy. Radiologists may be mistaken when marking sites, or marked values may be only approximate. Therefore, ground truth accuracy is also a controversial issue. Also, after following the diagnostic system steps, the first stage is image development; however, breast images often contain artifacts such as uneven lighting, adipose tissue, milk ducts, and rich vascular structure. In conclusion, robust methods are needed to remove artifacts and detect lesion borders in breast images. In future work, we also plan to test our methods on advanced neural networks and machine learning so that we can shed some light on some of these "ground truth" issues. In this study, it was aimed to determine tumor boundaries more accurately with pixel-based segmentation, to reduce the need for human beings, and to develop medical devices used in field imaging in the field of health with computer-aided software using image processing methods in a shorter time with fewer data sets.

In future work, it is planned to diagnose breast cancer using deep learning methods. Deep learning has come to the forefront as the rising trend of recent years in the diagnosis of diseases from medical images. There are important studies in the literature on the diagnosis of various diseases with deep learning. To name a few examples, breast cancer diagnosis (Shen et al., 2019), brain tumor diagnosis (Irmak, 2021), malaria disease detection (Irmak, 2021), COVID-19 disease detection (Irmak, 2020) are some important applications of deep learning in the diagnosis of medical diseases. It will be interesting to use deep learning methods in the diagnosis of breast cancer.

Acknowledgments

This project and article were supported by Osmaniye Korkut Ata University and Institute of Natural and Applied Sciences, OKUBAP-2020-PT3-011 Bap unit.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

References

- Akay M. Automatic mass segmentation in mammographic images. Universitat de Girona, Spain, 2006.
- Aksebzeci B. Computer-aided classification of breast cancer histopathological image., 2017.
- Al-Azhar. Assessment of the diagnostic accuracy of contrast-enhanced digital mammography in the differentiation between benign and malignant breast mass lesions. *International Medical Journal*, 2021; 2(1): 90-96.
- Aswathy MA., Jagannath M. Performance analysis of segmentation algorithms for the detection of breast cancer. *Procedia Computer Science* 2020; 167: 666-676.

- Banerjee S., Choudhary A., Pal S. Empirical evaluation of k-means, k-means bisection, fuzzy c-means and genetic k-means clustering algorithms. IEEE international WIE conference on Electrical and Computer Engineering 2015; 168-172.
- Birdwell RL., Ikeda DM., O'Shaughnessy KF., Sickles EA. Mammographic characteristics of 115 missed cancers later detected with screening mammography and the potential utility of computer-aided detection. Radiology 2001; 219(1): 192–202.
- Bottou L., Lin CJ. Support vector machine solvers. Large Scale Kernel 2007; 3(1): 301–320.
- Bradley PS., Fayyad UM. Refining initial points for k -means clustering. 15th International Conference on Machine Learning, San Francisco-ABD, 1998; 91-99.
- Canadian Cancer Statistics Advisory Committee. Canadian Cancer Statistics, 2018.
- Cancer Facts and Figures. American Cancer Society. Atlanta, 2020; 1-76.
- Ciecholewski M. Microcalcification segmentation from mammograms: a morphological approach. Journal Digit Imaging 2017; 30(2): 172–184.
- Çiklaçandır FGY., Ertaylan A., Bınzat U., Kut A. Lesion detection from the ultrasound images using k-means algorithm. Medical Technologies Congress (TIPTEKNO) 2019; 1-4.
- Dallali A., el Khediri S., Amel SA., Kachouri A. Breast tumors segmentation using otsu method and K-means. ATSIP 2018; 1-6.
- Das S., Abraham A., Konar A. Automatic clustering using an improved differential evolution algorithm. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2008; 38: 218-237.
- Dubey KA., Gupta U., Jain S. Comparative study of k-means and fuzzy c-means algorithms on the breast cancer data. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, 2018; 8(1): 18-29.
- Etehadtavakol M., Ng EYK. Survey of numerical bioheat transfer modelling for accurate skin surface measurements. Thermal Science and Engineering Progress, 2020; 20(1): 100681..
- Et-taleby A., Boussetta M., Benslimane M. Faults detection for photovoltaic field based on k-means, elbow, and average silhouette techniques through the segmentation of a thermal image. International Journal of Photoenergy, 2020; 6617597.
- Ghosh S., Dubey KS. Comparative analysis of k-means and fuzzy c means algorithms. (IJACSA). International Journal of Advanced Computer Science and Applications 2013; 4(4): 35-39.
- Gunderman RB. Essential radiology. Clinical presentation, pathophysiology, Germany. 2006.
<https://www.cancerimagingarchive.net/> Erişim Tarihi: 20.04.2021
<https://www.mathworks.org/> Erişim Tarihi: 22.04.2021
<https://www.dataschool.io/simple-guide-to-confusion-matrix-terminology/> Erişim Tarihi: 22.04.2021
- Isaac DN., Alexis R., Patrik B., Roberto LG., Karin B., Daniel T., Dilip DG., Jeffrey SR., Sunitha

- BT., Katja PD. Multidimensional diffusion magnetic resonance imaging for characterization of tissue microstructure in breast cancer patients: A prospective pilot study. *MDPI Cancers* 2021; 13(7): 1606.
- Irmak E. Multi-classification of brain tumor MRI images using deep convolutional neural network with fully optimized framework, *Iranian Journal of Science and Technology-Transactions of Electrical Engineering* 2021;45: 1015–1036.
- Irmak E. A novel implementation of deep-learning approach on malaria parasite detection from thin blood cell images *Electrica* 2021; 21(2): 216-224.
- Irmak E. Implementation of convolutional neural network approach for COVID-19 disease detection. *Physiol Genomics* 2020; 52(12): 590-601.
- Kapoor A., Singhal A. A comparative study of k-means, k-means++ and fuzzy c-means clustering algorithms. 2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT) 2017; 1-6.
- Karen SJ., Emily FC., Mary SS. Molecular subtypes of breast cancer: A review for breast radiologists. *Journal of Breast Imaging* 2021; 3(1): 12–24.
- Katz E., Barness Y. Comparison of SNR and Peak-SNR (PSNR) as performance measures and signals for peak-limited two-dimensional (2D) pixelated optical wireless communication, in: *Conference on Signals, Systems & Computers. IEEE* 2015; 1880–1884.
- Kaur A. Comparative analysis of segmentation algorithms for brain tumor detection in MR images. *Medicine* 2017.
- Kaur MN., Klassen AF., Xie F., Bordeleau L., Zhong T., Cano SJ., Tsangaris E., Bretkopf T., Kuspinar A., Pusic AL. An international mixed methods study to develop a new preference-based measure for women with breast cancer: the BREAST-Q Utility module. *BMC Women's Health* 2021; 21(8): 1-17.
- Kaur P., Singh G., Kaur P. Intellectual detection and validation of automated mammogram breast cancer images by multi-class SVM using deep learning classification. *Informatics in Medicine Unlocked*, 2019; 16: 100151.
- Kaygısız H., Çakır A. FPGA kullanılarak görüntülerin gerçek zamanlı olarak OTSU metodu ile bölütlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 18: 911-917.
- Khan SS., Ahmad A. Cluster centre initialization algorithm for k-means cluster. In *Pattern Recognition Letters* 2004; 1293–1302.
- Lin H., Ji Z. Breast cancer prediction based on K-Means and SOM Hybrid Algorithm. In *Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing* 2020;1624(4): 1-7.
- Malali HE., Assir A., Harmouchi M., Rattal M., Lyazidi A., Mouhsen A. Adaptive local gray-level transformation based on variable s-curve for contrast enhancement of mammogram images. *Embedded Systems and Artificial Intelligence* 2020; 671-679.

- Mentari BA., Rasyid Y., Fitri A., Khairul M. Histogram statistics and GLCM features of breast thermograms for early cancer detection, 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics. Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-NCON2018) 2018; 120-124.
- Mini G., Thomas T. A neural network method for mammogram analysis based on statistical features, Convergent Technologies for the AsiaPacific Region Conference, In TENCON 2003.
- Mittal H.,Saraswat M. An optimum multi-level image thresholding segmentation using non-local means 2D histogram and exponential Kbest gravitational search algorithm, Engineering Applications of Artificial Intelligence 2018; 71: 226–235.
- Ng EYK., Kee EC. Advanced integrated technique in breast cancer thermography. Journal of Medical Engineering & Technology 2008; 32:103-114.
- Podgornova YA., Sadykov SS. Comparative analysis of segmentation algorithms for the allocation of microcalcifications on mammograms. Information Technology and Nanotechnology 2019; 2391: 121-127.
- Rampuna A., Morrow PJ., Scotneya BW., Winder J. Fully automated breast boundary and pectoral muscle segmentation in mammograms. Elsevier 2017; 1-14.
- Sadeghi B., Karimi M., Mazaheri S. Automatic suspicious lesions segmentation based on variable-size windows in mammography images. Health and Technology 2021; 11(1): 99-110.
- Sankar D., Thomas T. A new fast fractal modeling approach for the detection of microcalcifications in mammograms, Journal of Digital Imaging 2010; 23(5): 538-546.
- Schönenberger C., Hejduk P., Ciritsis A., Marcon M., Rossi C., Boss A. Classification of mammographic breast microcalcifications using a deep convolutional neural network. Investigative Radiology 2021; 56(4): 224-231.
- Shen L., Margolies LR., Rothstein JH., Fluder E., McBride R., Weiva S. Deep learning to improve breast cancer detection on screening mammography, Scientific Reports 2019; 9:12495.
- Shokrgozar N., Sobhani FM. Customer segmentation of bank based on discovering of their transactional relation by using data mining algorithms. Modern Applied Science 2016; 10(10): 283-286.
- Subramanyeshwar R., Kamala S., Senthil JR., Sudha SM., Rashmi S., Veeraiah CKT. Accuracy of digital mammography, ultrasound and MRI in predicting the pathological complete response and residual tumor size of breast cancer after completion of neoadjuvant chemotherapy. Indian Journal of Cancer 2021; 58(1).
- Sun L., Legood R., Sadique Z. Dos-Santos-Silva I., Yang L. Cost-effectiveness of risk-based breast cancer screening programme China. Bull World Health Organ 2018; 96: 568-577.
- Tang T., Chen S., Zhao M., Huang W., Luo J. Very large-scale data classification based on K-means clustering and multi-kernel SVM. Soft Computing 2019; 23(11): 3793-3801.

- Tianwen X., Qiufeng Z., Caixia F., Qianming B., Xiaoyan Z., Lihua L., Robert G., Li L., Yajia G., Weijun P. In MRI, complete tumor histogram analysis and otsu threshold method to distinguish breast cancer from others 2019.
- Toronto ON: Canadian Cancer Society 2020. Available at: cancer.ca/Canadian-Cancer-Statistics-2018-EN.
- Yang MS., Sinaga KP. A feature-reduction multi-view K-means clustering algorithm. IEEE 2019; 7: 114472-114486.
- Zhu Y., Tan Y., Hua Y., Zhang G., Zhang J. Automatic segmentation of ground-glass opacities in lung CT images by using markov random fieldbased algorithms, Journal of Digital Imaging 2012; 25: 409-422.

Erozyon ile Mücadele Kapsamında Ağaçlandırma Projelerinin Etkinliği: Atatürk Barajı Örneği

Nermin Merve YALÇINKAYA^{1*}, Merve Melike ÇAKAR², Nuriye SAY³

^{1,3}Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 01330, Adana

² Peyzaj Yüksek Mimarı, Adana.

¹ <https://orcid.org/0000-0002-0860-1498>

² <https://orcid.org/0000-0002-4600-0626>

³ <https://orcid.org/0000-0003-2556-2002>

*Sorumlu yazar: nbaykan@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 04.11.2021

Kabul tarihi: 31.01.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Ağaçlandırma
Atatürk Barajı
Erozyon
Rezervuar sedimantasyonu

ÖZ

Bu çalışmada, Atatürk Baraj Gölü Havzası kıyı bölgelerinde Tarım ve Orman Bakanlığı ve Devlet Su İşleri tarafından gerçekleştirilen, erozyon kontrolü ve ağaçlandırma çalışmaları kapsamında yürütülen projeler incelenmiştir. Bu projeler; Akyazı-Bebek Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrol Uygulama Projesi (2014), Belören-Çakıreşme Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (2014), Atatürk Baraj Havzası Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Uygulama Projesi (2014) ve Adıyaman Belören-Çakıreşme-2 Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (2015)'dir. Projeler, erozyon ile mücadele ve ağaçlandırma temel hedefi kapsamında, peyzaj onarımı, yerel kalkınma gibi çevresel ve sosyoekonomik boyutta farklı konuları da hedeflemiştir. Uygulamalar sonucunda, toplam 2053,93 ha alanın ağaçlandırılmasıyla, bölgenin sürdürülebilirliği ve kalkınması adına önemli gelişmeler sağlandığı görülmektedir.

Efficiency of Afforestation Projects in Erosion Control Studies: Sample of Atatürk Dam

Research Article

Article History:

Received: 04.11.2021

Accepted: 31.01.2022

Published online:08.03.2022

Keywords:

Afforestation
Atatürk Dam
Erosion
Reservoir Sedimentation

ABSTRACT

The projects within the framework of erosion control and afforestation studies carried out by the Ministry of Agriculture and Forestry and State Hydraulic Works in the coastal areas of the Atatürk Dam Lake Basin is examined in this study. These projects are; Akyazı-Bebek Erosion Control and Afforestation Project (2014), Belören-Çakıreşme Erosion Control and Afforestation Project (2014), Atatürk Dam Basin Green Belt Afforestation Project (2014), and Adıyaman Belören-Çakıreşme 2 Erosion Control and Afforestation Project (2015). The fundamental goals based on the projects have several objectives in environmental and socioeconomic dimensions such as combating erosion, afforestation works, landscape restoration, local development, etc. During the implementation processes, a total of 2053.93 ha area was afforested. It is seen that important developments have been achieved in the name of sustainability and development of the region.

To Cite: Yalçinkaya NM., Çakar MM., Say N. Erozyon ile Mücadele Kapsamında Ağaçlandırma Projelerinin Etkinliği: Atatürk Barajı Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):282-300.

Giriş

Küresel ölçekte yüksek değere sahip doğal materyaller arasında yer alan toprak, zaman içinde farklı doğal ve kültürel faktörlerin etkisiyle aşınma ve taşınma süreçleri yaşamaktadır. Bu süreçlerin doğal eşiklerin çok üzerinde gerçekleştiği durumlar erozyon olarak tanımlanmakta (Daniels ve ark., 1987;

Altınbaş ve ark., 2006; Bahtiyar, 2006; Deniz ve Ok, 2016) ve taşınan toprağın birikim noktası topografik bir eğim kırıklığı, dere, akarsu, baraj rezervuarı vb. olabilmektedir (Hadley, 1986; Sarı, 2005). Erozyon ile taşınan toprakların içeriğinde üst tabakada yer alan zengin mineral ve organik madde karışımının yer alması nedeniyle, erozyona maruz kalan toprakların verimliliği büyük ölçüde azalmaktadır (Akay ve Session, 2005; Akay ve ark., 2008).

Doğal sistem bütünlüğünün bileşenleri arasında yer alan su, kültürel gereksinimleri barajlar aracılığıyla karşılamaktadır. İçme, kullanma, tarımsal vb. faaliyetlere yönelim sulama, enerji üretimi, sanayi sektörü kullanımları, taşkın ve sel kontrolü, balıkçılık, rekreasyon ve farklı çevresel amaçlar için kullanılan barajlar, Türkiye'nin su varlığının yönetiminde önemli bir yere sahiptir (Baraj Havzaları Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Eylem Planı, 2013). Erozyon süreçlerinde taşınan sediment ise, barajların öngörülen ekonomik ömürlerinin kısaltmasına ve sel ve taşkınların meydana gelmesine yol açmaktadır (Bagerello ve Ferro, 1999; Özsoy, 2007). Bu durum ise ülkesel önemli altyapı kaynakları arasında yer alan barajlar için önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Doğal kaynaklarının sürdürülebilirliği ve gıda güvenliğinin sağlanması amacıyla, erozyon kontrolü çalışmaları oldukça önemlidir. Bitkilendirme, uygun koşullarda yapıldığı durumlarda, erozyon etki düzeylerinin en aza indirilmesi ve önlenmesinde etkili başlıca faktörler arasındadır. Söğüt (2019), erozyon kontrolü çalışmaları kapsamında yürütülecek ağaçlandırma ve bitkilendirme süreçlerinde, uygulama alanının belirli özelliklerinin yönlendirici olduğunu ifade etmiştir. Bu özellikler, fiziksel yapı kapsamında topografik koşullar (eğim, bakı ve yükseklik), klimatolojik koşullar (ışık, radyasyon, nem yağış, rüzgar), edafik koşullar (pH durumu, tekstür, su tutma kapasitesi, katyon değişim kapasitesi, tuzluluk, organik madde miktarı, geçirgenlik, besin maddeleri içeriği), hidrolojik koşullar (mevcut su yapıları, su kalitesi, yıllık yağış miktarı ve dağılımı), flora ve fauna (zenginlik çeşitlilik, yayılış alanları ve niteliği, endemizm, nadirlik/yaygınlık durumu, habitat büyüklüğü, duyarlı habitatlar), alan kullanım durumu, mülkiyet durumu, altyapı olanakları, alanın kirlilik durumu vb. olarak sıralanmaktadır. Ayrıca, söz konusu uygun durumlar arasında ekolojik koşulların göz önüne alınması, yüksek düzeyde bakım ihtiyacı olmayan, doğal ve öncü türlerin seçimi oldukça önemlidir (Zengin ve ark., 2009; Söğüt ve Yalçınkaya, 2021).

Tarım ve Orman Bakanlığı (2021), Türkiye'nin coğrafik konumu ile iklimik, topografik ve edafik koşullarının erozyona karşı duyarlılığını arttırdığını ifade etmektedir. Bununla beraber, Türkiye topraklarının %59'luk bir bölümünün %12'nin üzerinde eğimli alanlardan oluştuğunu; Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi verilerine göre bu alanların %11,5'inde ise şiddetli ve çok şiddetli erozyon görüldüğünü belirtmektedir. Alan kullanımları yönünden, taşınan toprakların %38,71'i tarım alanlarında, %4,17'si orman alanlarında ve %53,66'sı mera alanlarında meydana gelmektedir.

Atatürk Barajı, 81,700 ha yüz ölçümü ile Türkiye'de en geniş rezervuar alanına sahip olmakta, hem sulama hem de enerji üretimi için kullanılmaktadır. Ülke ekonomisine önemli katkısı olan Atatürk Barajı'nın sahip olduğu yüz ölçümünün genişliği ve uzun kıyı şeridi, bölgesel koşulların etkisiyle Barajın erozyona karşı duyarlılığını da etkilemektedir. Atatürk Barajı çevresinde konumlanan tarım ve

orman arazileri topraklarının stabil tutularak erozyonla su kaynağına taşınmaması, Baraj rezervuarının sediment ile dolmaması ve ekonomik ömrünün uzatılması açısından oldukça önemlidir.

Baraj etrafında yürütülen toprak erozyonu kontrolü çalışmalarının ve nitelikli ve planlı ağaçlandırma projelerinin etkinliklerinin sistematik olarak kontrolü gerekmektedir. Bu çalışmalar ayrıca, su üretimini desteklemek amacıyla da bölgeye katkı sağlayacaktır. Bilindiği üzere, ağaçlandırılmış alanlar ve ormanların doğal sistem bütünlüğü çerçevesinde diğer bir fonksiyonu ise, temiz ve kaliteli su üretimini sağlamasıdır. Ayrıca, ağaçlandırılan arazilerin-yukarı havzaların daha fazla yağış aldığı ve daha fazla kullanılabilir su ürettiği bilinmektedir (Baraj Havzaları Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Eylem Planı, 2013).

Bu çalışmada, Atatürk Baraj Gölü'nü besleyen havzada, Tarım ve Orman Bakanlığı Ağaçlandırma Genel Müdürlüğü sorumluluğunda ve DSİ'nin desteğinde gerçekleştirilen, erozyon kontrolü ve ağaçlandırma çalışmaları kapsamında yürütülen dört proje; (i) Akyazı-Bebek Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrol Uygulama Projesi (2014), (ii) Belören-Çakıreşme Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (2014), (iii) Atatürk Baraj Havzası Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Uygulama Projesi-2 (2014) ve (iv) Adıyaman Belören-Çakıreşme 2 Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (2015) incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucu elde edilen bulgular, sürdürülebilir ve sosyoekonomik çerçevede, peyzaj onarımı ilkeleri de göz önüne alınarak karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Araştırmanın Bilimsel Çerçevesi

Türkiye'de Peyzaj Onarımı Süreçlerinde Erozyon ile Mücadelenin Yeri

Türkiye'de özellikle kırsaldan kente göç hareketinin artış gösterdiği 1990-2012 yılları arasında alan kullanımlarındaki değişim durumu incelendiğinde; ormanların da içinde yer aldığı kırsal alanların 1.212.900 ha azaldığı, kültürel alanların 424,867 ha, tarımsal alanların 423,756 ha, su varlığının ise 332.909 ha arttığı görülmektedir. Orman varlığı yönünden alan kullanımları incelendiğinde; 2005 yılında 21.188.747 ha olan orman alanları 2018 yılında 22.621.935 ha olarak hesaplanmıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). 2020 yılı itibarıyla yapılan tespitlere göre ağaçsız orman alanları dışındaki ormanlık alanlar 22.933.000 ha olarak alan kullanımları arasında %29,4'lük bir orana sahiptir (OGM, 2020). Türkiye'de 2021 yılında çıkan büyük yangınlar ile büyük oranda orman kayıpları yaşanmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı (2022)'na göre bu yanan toplam alan 128,683 ha olup, en fazla tahrip olan ilk üç il Antalya (60,358 ha), Muğla (43,096 ha) ve Mersin (9,661 ha)'dir. Türkiye'nin sahip olduğu coğrafi konumu ve doğal yapı bileşenleri (topoğrafya, iklim ve toprak) ülke topraklarının erozyona ve kuraklığa karşı duyarlılığının artmasına neden olmaktadır (Çevre ve Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Yönetimi Çalışma Grubu Raporu, 2018). Doğal kaynaklar, doğal sistem bütünlüğünün devamlılığı adına sürdürülebilir yönetimi gereken en önemli çevresel yapı unsurlarının başında gelmektedir. Doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi, erozyon, kuraklık gibi farklı

sorunların önceden tespitinde ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi sürecinde temel aktörler arasındadır. Bu doğrultuda, ilgili alanların kullanım kararlarının belirlenmesi ve ekolojik tabanlı uygulamalar geliştirilmesi, kültürel dokulara yönelik kullanım kararlarının doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimine dayandırılması, çevresel karar verme süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır. Bu perspektifte, çevresel tahribat görülen, farklı nedenlerle bozunuma uğramış alanlara yönelik diğer bir önemli yöntem ise peyzaj onarımıdır.

Peyzaj onarımı süreçlerinde, tahrip edilen alanların aynı ya da farklı amaçla kullanımı adına ekonomik, ekolojik ve estetik değerlerini yenileme çalışmaları yürütülür. Bu çalışmaların gerekçesi, sürdürülebilirlik ilkeleri ışığında farklı peyzaj karakter alanlarının işlevselliğini doğru teknikler yardımıyla desteklemektedir (Akpınar, 2005; Çoban ve Erol, 2015). Peyzaj onarım metodolojisi; uygulama öncesi, uygulama esnası ve uygulama sonrası olmak üzere farklı etaplarda yürütülen planlama ve uygulama çalışmalarını kapsamaktadır (Akpınar ve Çelem, 2000; Özbey, 2005; Say, 2016). Peyzaj onarımında bozulmuş veya tahrip olmuş alanların, teknik yöntemlerle birlikte biyolojik yöntemlerin de kullanılmasıyla yenilenmesi, iyileştirilmesi ve geliştirilmesi temel hedeflerdir.

Peyzaj onarımı çalışma konuları arasında önemli bir yeri olan erozyon ile mücadele süreçlerinde, nitelikli ağaçlandırma çalışmaları ile başarı sağlanabilir. Bu nedenle, çalışma alanı mevcut durum verilerinin ağaçlandırmaya uygun olması durumunda, ağaçlandırma öncelikli tercih edilmesi gereken bir çözümdür (Ertekin ve Özel, 2010; Yılmaz ve Tonguç, 2010; Say, 2016).

Türkiye’de yürütülen çölleşme ve erozyonla mücadele çalışmaları Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı bünyesinde; *“toprağın korunması, tabii kaynakların geliştirilmesi, çölleşme ve erozyonla mücadele edilmesi, çığ, heyelan ve sel kontrolü faaliyetleriyle ilgili politika ve stratejiler belirlemek, ilgili kurum ve kuruluşlar arasında işbirliği ve koordinasyon sağlanmak”* amacıyla 2011 yılında kurulan Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından yürütülmektedir (ÇEM, 2022).

Çölleşmeyle Mücadele Eylem Planı (2019-2023) kapsamında erozyonla mücadele amacıyla yürütülen çalışmalar incelendiğinde; verimli ormanların miktarı 2019 yılında 13.083.510 ha iken, 2020 yılında 13.264.429 ha olarak belirtilmektedir. Ekosistem tabanlı uyum tedbirlerinin örnek projeler yapılarak yaygınlaştırılması kapsamında, ormancılıkta uyum ile ilgili olmak üzere 2020 yılında 3 adet proje tamamlanmıştır. Proje uygulamaları sonucunda erozyon kontrol çalışması yapılan alan 2019 yılında 16,539 ha iken 2020 yılında 20,905 ha’dır. Eylem Planında “Orman yangınlarıyla mücadelede önleyici tedbirlerin artırılması, müdahale kapasitesinin güçlendirilmesi” eylemi kapsamında yer alan insan kaynaklı yangın sayısının toplam yangın sayısına oranı 2019 yılında %86, 2020 yılında ise %91’dir. “Erozyon riski açısından önceliğe sahip sahalarda uygun erozyon kontrolü çalışmalarının ve entegre ve katılımcı havza rehabilitasyon projelerinin uygulanması” eylemi kapsamında proje uygulamaları sonucunda erozyon kontrol çalışması yapılan alan 2019 yılında 16,539 ha iken, 2020 yılında 20,905 ha’dır.

Ağaçlandırma Çalışmalarında Uygun Tür Seçiminin Önemi

Söğüt (2019), ağaçlandırma çalışmaları kapsamında amaca uygun seçilen türlerin sahip olması gereken özellikleri beş başlıkta değerlendirmiştir; fiziksel özellikleri, yabancı yurtlu olup olmadığı, çevresel istekleri, ekonomik değeri, istilacı olma niteliği.

Fiziksel yönden türlerin boyu, çapı, taç yüksekliği, herdem yeşil ya da yaprak döken olma durumu, gövde boyu, dal ve sürgün yapısı, yaprak yapısı, çiçek ve meyve durumu, büyüme hızı, dayanıklılığı, ölü örtü oluşturma yeteneği, polen niteliği vb. özellikleri araştırılmalıdır.

Türlerin doğal yurtlu olması, bölgenin iklimik ve edafik koşullarına uyum sürecinin hızlanmasını sağlar. Biyoçeşitlilik açısından, flora ve fauna üyeleri için olumlu çevresel koşulları oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Çevresel faktörlerin doğal alanlara eğilimli bir yapı kazanmasını sağlar. Ayrıca, bitki materyali yönünden alanda bulunan diğer türler ile fiziksel olarak güçlü bir bitkisel doku oluştururlar. Doğal yurtlu türler, kuraklığa dayanıklılık ve çalışma alanında yaygın hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılık durumunun da artmasını sağlar.

Çevresel istekleri yönünden alandaki en yüksek-en düşük sıcaklık değerlerine, kuraklığa ve rüzgâra dayanıklılık gösterirler. Ekonomik değerleri yönünden, odun-kereste üretimi, çiçek-polen üretimi, meyve-tohum üretimi vb. doğrudan ya da dolaylı elde edilen katma değerleri bulunmaktadır. İstilacı olma durumları ise, bitkilerin uyum ve kendini yenileme yeteneği ile ilişkilendirilir. Hızlı büyüme, kısa yaşam döngüsü, çimlenme sonrası üstün rekabet gücü, derin kök sistemi, yüksek tohum üretimi, çevresel koşullara tolerans özellikleri olarak sıralanabilir (Söğüt ve Yalçınkaya, 2021).

Araştırmanın Kuramsal Çerçevesi

Bu araştırmanın kuramsal çerçevesini oluşturan temel araştırma konusu ve sorusu aşağıda verilmiştir:

Araştırma konusu: Tarım ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma Genel Müdürlüğü tarafından Atatürk Barajı kıyı bölgelerinde gerçekleştirilen dört erozyon kontrol projesinin, peyzaj onarımı çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.

Araştırma sorusu: Çalışma alanında erozyon ile mücadele çalışmaları kapsamında ağaçlandırma projelerinin etkinliği nedir?

Materyal ve Yöntem

Materyal

Atatürk Barajı, Adıyaman ve Şanlıurfa illeri arasında, Fırat ve Dicle Havzasında, Fırat Nehri üzerinde kuruludur (Şekil 1; Şekil 2). 1992 yılında işletmeye açılan Baraj, enerji üretimi, sulama ve içme suyu amaçlı kullanılmaktadır. Barajın normal/minimum su kotu 526 m, maksimum su kotu ise 542 m'dir. 8 türbine sahip Barajın yüksekliği 169 m'dir. Kaya dolgu tipine sahip Atatürk Barajı, dolgu hacmi bakımından dünyada 6. sıradadır (Baraj Havzaları Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Eylem Planı, 2013;

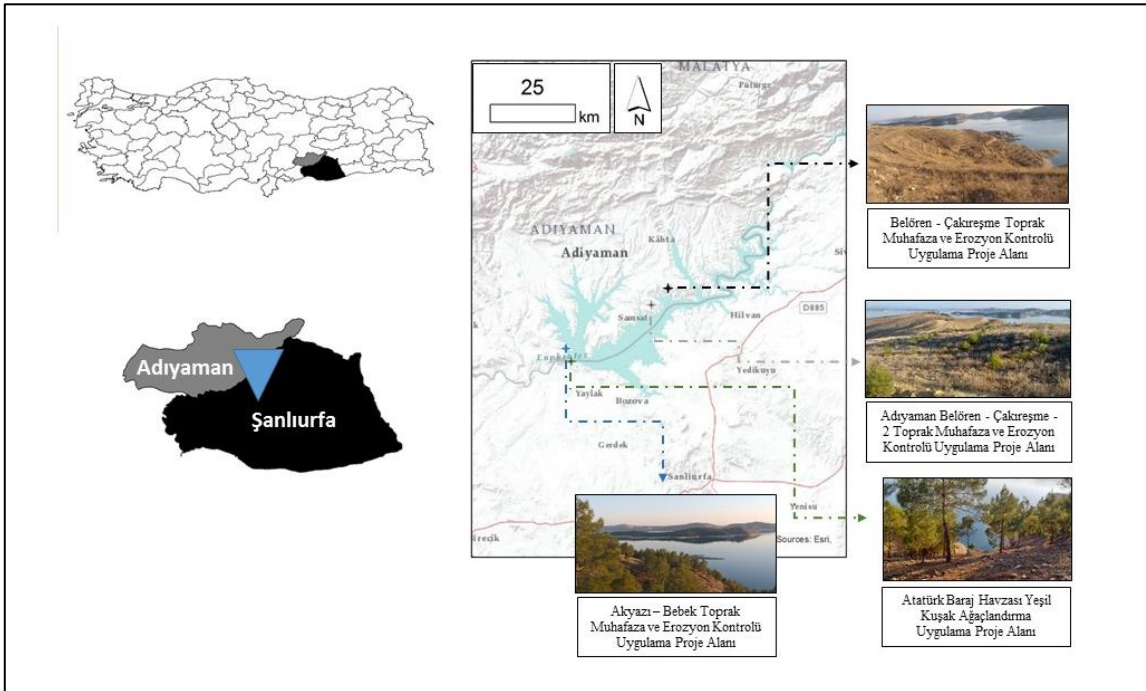
Devlet Su İşleri, 2022). 2400 MW güce sahip Baraj, yıllık 8,900 GWh elektrik enerjisi üretim kapasitesi ile Türkiye bulunan diğer hidroelektrik santrallerinde üretilen enerjinin %20'sini karşılayabilecek kurulum gücüne sahiptir (Atatürk Barajı, 2022).



Şekil 1. Atatürk Barajı'ndan görünüm (Atatürk Barajı, 2017)

Çalışmanın materyalini Atatürk Barajı Havzası'nda bulunan dört farklı proje oluşturmaktadır. Bu projeler ve tamamlanma tarihleri aşağıda verilmiştir:

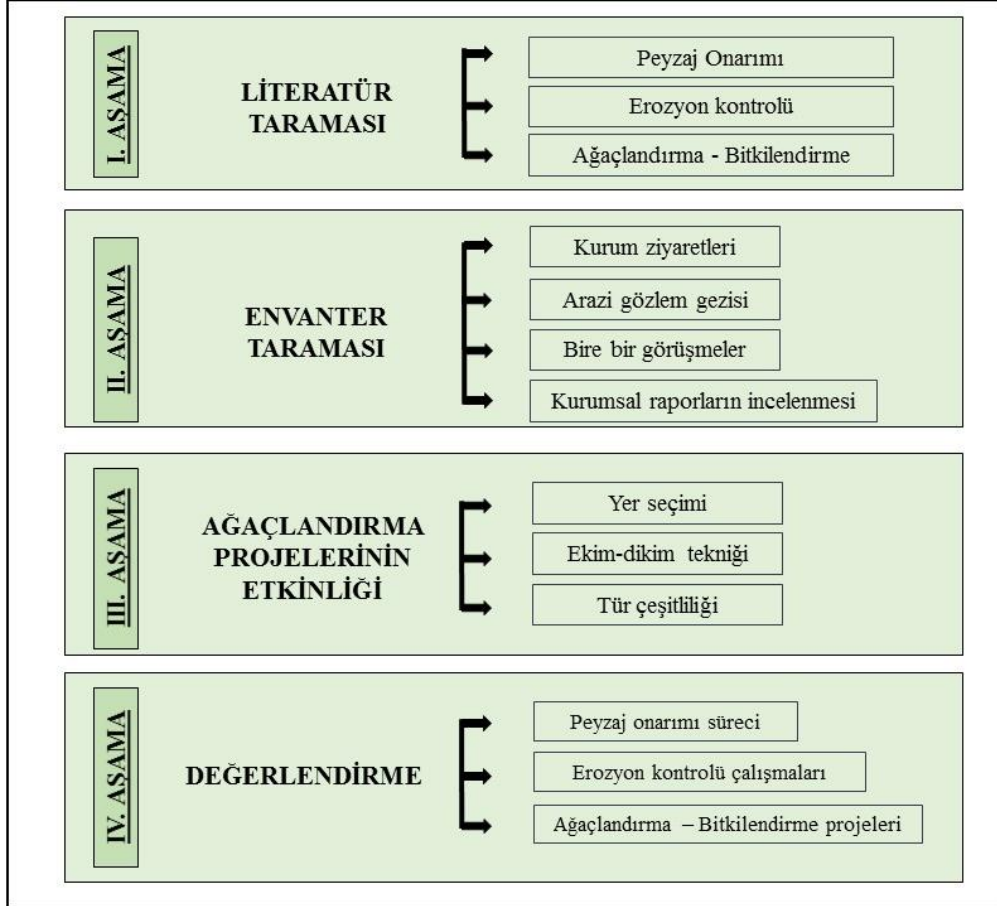
- i. Akyazı-Bebek Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (2014),
- ii. Belören - Çakırcı Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (2014),
- iii. Atatürk Baraj Havzası Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Uygulama Projesi (2014),
- iv. Adıyaman Belören – Çakırcı-2 Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (2015).



Şekil 2. Araştırma kapsamında incelenen projelerin konumları

Yöntem

Bu çalışmada, Atatürk Baraj Gölü Havzası kıyı bölgelerinde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen, erozyon kontrolü ve ağaçlandırma çalışmaları kapsamında yürütülen dört projenin ağaçlandırma etabı sonrası etkileri, projelerin bölgeye uygunluğu, seçilen ağaç türleri ve ekim-dikim metotları değerlendirilmiştir. Çalışmada izlenen yöntem Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmanın akış şeması

Çalışma sürecinde izlenen akış kapsamında, dört temel aşama yer almaktadır. İlk aşamada, erozyon kontrolü ve ağaçlandırma terimleri kuramsal çerçevede incelenmiştir. Yapılan literatür taramasında ayrıca, verilen çerçevede erozyon kontrolü çalışmalarının küresel boyutta gelişim süreci ve bu kapsamda ağaçlandırmanın yeri araştırılmıştır. Veri toplama sürecinin yürütüldüğü ikinci aşamada, envanter taraması yapılmıştır. Bu kapsamda, kurum ziyaretleri, arazi gözlem gezisi, bire bir görüşmeler yapılmış ve kurumların hazırladığı raporlar incelenmiştir. Projelere ait bilgiler; Tarım ve Orman Bakanlığı dokümantasyonlarından ve projeleri yürüten Şanlıurfa Orman Bölge Müdürlüğü, Adıyaman Orman İşletme Müdürlüğü, Adıyaman Orman İşletme Şefliği tarafından hazırlanan raporlardan elde edilmiştir. Ardından, projeler mekânsal özellikler, amaç ve hedefler ve kullanılan yöntemler açısından incelenmiş ve ağaçlandırma projelerine yönelik bilgilendirme sunulmuştur.

Çalışmanın üçüncü aşamasında; ağaçlandırma projelerinin etkinliğine yönelik değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda; projeler, hem mekânsal özellikler açısından, hem de projelerde kullanılan materyal ve yöntemler açısından olmak üzere farklı başlıklar yönünden incelenmiş ve çizelge olarak sunulmuştur. Çalışmanın son aşamasında, yürütülen ağaçlandırma projeleri, peyzaj onarımı kapsamında değerlendirilmiş ve mevcut durumun daha da iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Bunun yanı sıra, bu aşamada çalışmanın metodolojisi kapsamında belirlenen araştırma sorusuna yönelik elde edilen çıkarım ve yorumlar sunulmuştur.

Bulgular

Araştırma Alanı Fiziki Yapı Özellikleri

Atatürk Barajı Havzası, iklimik faktörler yönünden incelendiğinde, kış aylarında serin ve kısmen yağışlı, ilkbahar aylarında ılıman, yaz aylarında ise kurak ve sıcak yapıdadır. Yıllık sıcaklık 17-19 °C arasında değişmektedir. Yağış miktarı, rakımla birlikte artış göstermekte olup Havzada ortalama 700 mm'dir. Ağırlıklı olarak kasım ve mayıs aylarında görülen yağışlar; aralık ayında kar halini almakta, kış süresince birikmektedir. Biriken kar kütesinin Nisan ve Mayıs aylarında erimesi sonucu bölgede taşkınlar görülebilmektedir (Atatürk Barajı, 2022).

Araştırma alanında ağırlıklı olarak eğimli araziler görülmektedir. Eğimin düşük düzeyde olduğu kesimler, bölge halkı tarafından tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Eğimin yüksek düzeyde olduğu kıyı kesimleri bitki örtüsü bakımından yetersizdir. Bu nedenle, bu alanlar erozyona karşı dayanıksızdır ve şiddetli yağışlar sonrasında bu alanlardan önemli miktarda toprak baraj rezervuar alanına taşınmaktadır (Devlet Su İşleri, 2022).

Flora Varlığı

Çalışma alanı bulunduğu konumun etkisiyle, ağırlıklı olarak Güneydoğu Anadolu olmakla birlikte, belirli kesimlerde Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinin iklim özellikleri de görülür. Flora varlığı incelendiğinde ise, üç coğrafik bölgenin etkisindeki türlerin alanda dağılım gösterdiği görülmektedir.

Rakımı yüksek olan kesimlerin ağırlıklı olarak meşe ağaçları ile kaplı olmasına karşılık, çalışma alanı kapsamında su ve toprak erozyonu nedeni ile ciddi boyutta bitki örtüsü tahribatı yaşanan kesimler de görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Araştırma alanına ait görünüm

Orman içi bitki örtüsü, yaz mevsiminin uzun ve kurak geçmesi nedeniyle oldukça yetersiz boyuttadır. Tarımsal faaliyetlerin yapılmadığı araziler mera niteliği taşıdığı ya da doğal yurtlu ağaçlar ve maki örtüsü ile kaplı olduğu ifade edilebilir. Sazlık ve bataklık alanlarda suyu seven bitki türlerine rastlanmaktadır (Adıyaman İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2021).

Araştırma alanında iklimsel koşulların etkisiyle, ağırlıklı olarak kuraklığa dayanıklı odunsu bitkiler görülmektedir; antepfıstığı (*Pistacia vera*), badem (*Prunus dulcis*), meşe (*Quercus* sp.) ve yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*). Tarımsal faaliyetlerin yapıldığı arazilerde toprağın her yıl sürülmesi nedeniyle otsu bitki örtüsü yetişmemektedir. Ancak tarımsal faaliyetlerin yapılmadığı kesimlerde ilkbahar mevsiminde gelişen ve yaz mevsimine doğru kuruyan bozkır tipi otsu bitki türleri görülür (Çakar, 2019). Çalışma alanında bulunan takson örnekleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırma alanında bulunan taksonlar (TÜBİVES, 2021).

Odunsu Taksonlar	Otsu Sucul Taksonlar
<i>Amygdalus arabica</i> Arap bademi	<i>Blysmus compressus</i> Yassı hasır otu
<i>Amygdalus lycioides</i> Badem	<i>Bolboschoenus maritimus</i> var. <i>maritimus</i> Sandalye sazi
<i>Cotoneaster nummularia</i> Dağ muşmulası	<i>Carex melanorrhyncha</i> Has ayak otu (endemik tür)
<i>Crataegus monogyna</i> Aliç	<i>Cyperus glaber</i> Kösnü otu
<i>Fontanesia</i> <i>philliraeoides</i> subsp. <i>philliraeoides</i> Sarı çibik	<i>Cyperus longus</i> Kara topalak
<i>Fraxinus angustifolia</i> subsp. <i>oxycarpa</i> Sivri meyveli dişbudak	<i>Fimbristylis bisumbellata</i> İkiz telberdi
<i>Jasminum fruticans</i>	<i>Juncus inflexus</i>

Sarı çiçekli yasemin	Sazak
<i>Juniperus oxycedrus</i> L. subsp. <i>oxycedrus</i> L. Dikenli ardıç	<i>Juncus articulatus</i> Çamış otu
<i>Lonicera nummulariifolia</i> Tavşançili	<i>Schoenoplectus lacustris</i> subsp. <i>Tabernaemontani</i> Ayna semerotu
<i>Nerium oleander</i> Zakkum	<i>Scirpoides holoschoenus</i> Vurla
<i>Olea europaea</i> var. <i>europaea</i> Zeytin	<i>Typha domingensis</i> Şeytan mumu
<i>Pistacia khinjuk</i> Menengiç - Sakız ağacı	<i>Typha laxmannii</i> Hasır otu
<i>Quercus libani</i> Lübnan meşesi	<i>Typha minima</i> var. <i>gracilis</i> Bodur hasır otu
<i>Rosa pulverulenta</i> Bodur gül	
<i>Rubus sanctus</i> Böğürtlen	
<i>Salix triandra</i> subsp. <i>bornmuelleri</i> Köy söğüdü	
<i>Styrax officinalis</i> Tesbih ağacı	
<i>Tamarix smyrnensis</i> İlgın	

Araştırma Alanında Yürütülen Erozyon Kontrolü ve Ağaçlandırma Projeleri

Akyazı-Bebek Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrol Uygulama Projesi (Proje 1)

Proje alanı, Adıyaman il merkezine 22 km mesafede bulunan Akyazı Mahallesi ve 30 km mesafede bulunan Bebek Mahallesi sınırları arasında yer almaktadır. Proje alanı toplamda 274,16 ha olmak üzere; 68,63 ha tarım arazisi ve yerleşim alanı, 34,11 ha mevcut ağaçlı alanlar, 1,81 ha ise ulaşım ağına aittir. Proje alanının mevcut ağaçlılık durumu incelendiğinde, belirli kesimlerin ağaçsız durumda, diğer kesimlerin ise toplu/dağınık yapıda yetişmiş ağaç-ağaççıklara sahip olduğu görülmektedir.

Proje alanı sorumluluğu Şanlıurfa Orman Bölge Müdürlüğü, Adıyaman Orman İşletme Müdürlüğü ve Adıyaman Orman İşletme Şefliğindedir. Bu alanın 169,61 ha bölümünde toprak muhafaza ve erozyon kontrolü çalışmaları yapılması planlanmıştır. Bölge halkının temel istihdam kaynağının tarımsal faaliyetler ve hayvancılık olması nedeniyle, bu alanlarda erozyonla mücadele kapsamında yer alan çalışmalar istihdam kaynaklarının desteklenmesi adına oldukça önemlidir.

Belören-Çakıreşme Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (Proje 2)

Proje alanı, Adıyaman ili Kahta ilçesine bağlı; il merkezine 53 km, Kahta'ya 20 km mesafede bulunan Belenli Mahallesi, il merkezine 41 km, Kahta'ya 8 km mesafede bulunan Güzelçay Mahallesi, il merkezine 48 km, Kahta'ya 15 km mesafede bulunan Hacıyusuf Mahallesi, il merkezine 41 km, Kahta'ya 8 km mesafede bulunan Narsırtı, il merkezine 55 km, Kahta'ya 22 km mesafede bulunan

Çakıreşme Mahallesi, il merkezine 43 km, Kahta'ya 10 km mesafede bulunan Köşeler Mahallesi ve il merkezine 28 km, Kahta'ya 2 km mesafede bulunan Bağlar Mahallesi sınırları arasında yer almaktadır. Proje genel alanı toplamda 1156,86 ha olmak üzere; 117,46 ha bölümünü Baraj Gölü, 10,26 ha ulaşım ağı yer almakta olup, 1029,14 ha bölümünde ise erozyon kontrolü çalışmaları planlanmıştır. Bölge halkının istihdam kaynağı tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktır. Bölgede erozyonun yol açtığı sorunlar ise dış göçe neden olmaktadır. Bu nedenle, erozyonla mücadele kapsamında yer alan çalışmalar istihdam kaynaklarının desteklenmesi adına oldukça önemlidir.

Atatürk Barajı Havzası Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Uygulama Projesi (Proje 3)

Türkiye'de erozyon ile mücadele kapsamında 2003 yılından bu yana baraj ve göletlerin su toplama havzalarında ağaçlandırma çalışmaları yürütülmektedir. Bu çerçevede yer alan Baraj Havzaları Yeşil Kuşak Eylem Planı (2013-2017), baraj ve göletlerin göl aynası çevresinin kontrollü ve planlı ağaçlandırılması amacıyla hazırlanan önemli bir dokümantasyondur. Eylem Planı'nda yer alan yeşil kuşak ağaçlandırmalarının amaçları arasında, baraj göllerine taşınan sedimentin azaltılması, Türkiye'nin önemli altyapı yatırımları arasında yer alan barajların ekonomik ömrünün artırılması, baraj havzalarının sürdürülebilirliği ve su kalitesinin artırılması olarak belirtilmiştir.

Eylem Planı kapsamında, Dicle-Fırat Havzası'nda yürütülecek uygulamalar arasında yer alan Atatürk Barajı Yeşil Kuşak Uygulama Projesi kapsamında, Baraj göl aynası çevresinde yeşil kuşak oluşturulması ve havza koruma alanının ağaçlandırılması çalışmaları yer almaktadır.

Proje alanı, DSİ 20. Bölge Müdürlüğü 203. Şube Müdürlüğü tarafından 540-542 kotları arası 142,65 ha bölümünde aplikasyon çalışmaları yapılarak ağaçlandırılmak üzere kamulaştırılmıştır. Proje alanı sorumluluğu ormancılık yönünden Şanlıurfa Orman Bölge Müdürlüğü, Adıyaman Orman İşletme Müdürlüğü ve Adıyaman Merkez Orman İşletme Şefliği'ndedir.

Adıyaman Belören-Çakıreşme-2 Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi (Proje 4)

Proje alanı, Adıyaman ili Kahta ilçesine bağlı; il merkezine 53 km, Kahta'ya 20 km mesafede bulunan Belören Mahallesi, il merkezine 55 km, Kahta'ya 22 km mesafede bulunan Çakıreşme Mahallesi sınırları arasında yer almaktadır. Proje alanı toplamda 480,06 ha olup, kapsamında iskân, tarım arazisi, elektrik hattı vb. mülki araziler bulunmamaktadır. 1,69 ha (4,225 km) ulaşım ağına aittir, Alanın 44,46 ha'lık bölümünde su kotu altında olması kaynaklı teknik nedenlerden, 14,78 ha'lık bölümünde ise sosyokültürel nedenlerden uygulama yürütülmeyeceği belirtilmiştir. Geri kalan 419,13 ha'lık bölüm ise, uygulama yürütülecek net alanını oluşturmaktadır.

Proje alanının sorumluluğu, ormancılık yönünden Şanlıurfa Orman Bölge Müdürlüğü, Adıyaman Orman İşletme Müdürlüğü ve Kahta Orman İşletme Şefliğindedir. Proje alanı kapsamında verimli orman bulunmamakla beraber Proje 1 ve Proje 4, bölge halkı için istihdam kaynağı oluşturacak tür seçimleri ile yerel kalkınma üzerinde olumlu etkiler beklenmektedir.

Araştırma Alanında Yürütülen Projelerin Değerlendirilmesi

Çalışmada incelenen projeler kapsamında farklı teknik ve yöntemlerden yararlanıldığı görülmüştür. Arazi hazırlığı ve toprak işleme (ekskavatör yardımıyla, gradoni şeklinde ya da ocak şeklinde), ekskavatör monteli kırıcı yardımıyla dikim çukuru hazırlanması (şuror), ikili ripelerle toprak işleme, işçi gücü ile ocaklar halinde toprak işleme, terasların araziye aplikasyonu, dikim zamanı belirleme, dikim tekniği belirleme, tüplü fidan dikimi, çıplak köklü fidan dikimi, tohum ekimi, türlere verilecek aralık x mesafelerin belirlenmesi, oyuntuların tahkimi ve ana-tali derelerin ıslahı, dikenli tel çit çekme, köy tüzel kişiliği ile koruma, bekçi ile koruma olarak ifade edilebilir. Projelerin kapsam ve hedeflerine yönelik yapılan karşılaştırmalı değerlendirme Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Uygulanan projelere yönelik kapsam değerlendirmesi

	Öncelikli Hedefler	Erozyon Verileri	Bitkilendirme Süreci
PROJE 1	<p>Yüzey erozyonunu en az düzeye indirmek ve toprağın su tutma kapasitesini artırmak.</p> <p>Bölge kaynaklarının geliştirilmesi ile bölge halkına istihdam imkânı</p>	<p>Görülen yüzey erozyonu dağılımı; 47,46 ha hafif, 87,05 ha orta, 31,01 ha şiddetli ve 4,09 ha çok şiddetli olarak verilmiştir.</p> <p>Yüzey erozyonunun yanı sıra, belirli yamaçlıklarda da erozyon görülmüştür.</p> <p>Akyazı Mahallesi’nde (1066 parselde) 0,84 ha alanda sel dereciği bulunmaktadır.</p>	<p>Mevcut durum kapsamında, proje alanında ağaçsız ya da toplu ya da dağmık yapıda ağaç-ağaçcıklar görülen alanlar yer almaktadır.</p> <p>4,99 ha alanda 4,499 adet badem (<i>Amygdalus communis</i>) tohumu,</p> <p>35,79 ha alanda 32,593 adet badem (<i>Amygdalus communis</i>) fidanı,</p> <p>47,09 ha alanda 47,686 adet antepfıstığı (<i>Pistacia vera</i>) fidanı,</p> <p>40,06 ha alanda 62,181 adet halep çamı (<i>Pinus halepensis</i>) fidanı,</p> <p>40,03 ha alanda 62,125 adet elderika çamı (<i>Pinus elderica</i>) fidanı dikilmiştir.</p>

PROJE 2	sağlamak. Bölge halkının çevresel farkındalığını artırmak.		Görülen yüzey erozyonu dağılımı; 158,73 ha hafif, 432,14 ha orta şiddetli ve 430,66 ha şiddetli olarak verilmiştir. Yüzey erozyonunun yanı sıra, 7,61 ha oyuntu erozyonu oluşmuştur.	Mevcut durum kapsamında, proje alanında az sayıda alıç (<i>Crataegus monogyna</i>) ve çitlembik (<i>Celtis australis</i>) türleri yer almaktadır. Çalı formulu bu türlerin ağaçlandırma etaplarında büyük oranda korunduğu görülmektedir. Alana 356,230 adet tüplü halep çamı (<i>Pinus halepensis</i>) fidanı, 5,760 adet çıplak köklü alıç (<i>Crataegus monogyna</i>) fidanı, 25,160 adet çıplak köklü aşılı badem (<i>Amygdalus communis</i>) fidanı, 324,480 adet çıplak köklü antepfıstığı (<i>Pistacia vera</i>) fidanı, 810 adet çıplak köklü çitlembik (<i>Celtis australis</i>) fidanı dikilmiştir. 57,400 adet meşe (<i>Quercus L.</i>) tohumu ekilmiştir.
PROJE 3		Su-bitki-toprak dengesini tesis etmek. Hidrolojik tabanlı ağaçlandırmayı tesis etmek.	Görülen yüzey erozyonu az ve orta şiddetlidir. Belirli alanlarda odunsu bitki örtüsü, otsu tür yoğunluğuna kıyasla daha az miktardadır. Bu durum, erozyonun önlenmesinde yetersizlik oluşturmaktadır.	Mevcut durum kapsamında, proje alanında bulunan doğal yurtlu alıç (<i>Crataegus monogyna</i>) ve badem (<i>Amygdalus communis</i>) türlerine ait doku korumaya alınmıştır. Alana 16,944 adet tüplü halep çamı (<i>Pinus halepensis</i>) fidanı, 16,952 adet tüplü kızılçam (<i>Pinus brutia</i>) fidanı, 37,459 adet antepfıstığı (<i>Pistacia vera</i>) fidanı, 15,990 adet çıplak köklü badem (<i>Amygdalus communis</i>) fidanı dikilmiştir.

PROJE 4	<p>Su-bitki-toprak dengesini tesis etmek.</p> <p>Ekosistem servisleri kapsamında, bölgede hammadde (odun, kereste vb.) üretimini desteklemek.</p>	<p>Görülen yüzey erozyonu dağılımı; 84,34 ha yok veya hafif şiddette; 192,38 ha orta şiddetli; 108,55 ha şiddetli ve 28,98 ha alanda da çok şiddetli olarak verilmiştir.</p> <p>Yüzey erozyonunun yanı sıra, alanda oyuntu erozyonu da görülmektedir.</p> <p>4,88 ha alanda sel dereciği bulunmaktadır.</p>	<p>Proje alanında toplamda 416,67 ha alana dikim yapılmıştır.</p> <p>107,433 adet tüplü antepfıstığı (<i>Pistacia vera</i>) fidanı,</p> <p>24,625 adet tüplü fıstık çamı (<i>Pinus pinea</i>) fidanı,</p> <p>43,333 adet tüplü servi (<i>Cupressus sempervirens</i>) fidanı,</p> <p>172,008 adet tüplü kızılçam (<i>pinus brutia</i>) fidanı,</p> <p>75,992 adet çıplak köklü badem (<i>Amygdalus communis</i>),</p> <p>38230 adet çıplak köklü badem (<i>Amygdalus communis</i>) fidanı dikilmiştir.</p> <p>75,150 adet meşe (<i>Quercus L.</i>) tohumu ekilmiştir.</p>
---------	---	---	--

Araştırma kapsamında incelenen, erozyon kontrolü amacıyla yürütülen ağaçlandırma/bitkilendirme çalışmalarında kullanılan ağaç türlerinin bölgenin iklimik koşullarına (yarı kurak iklim) dayanıklı olan doğal türler arasından seçildiği görülmektedir. Plantasyon süreçlerinde, arazinin topoğrafyası, toprak özellikleri ve makine kullanımı koşulları göz önünde bulundurularak tohum, çıplak köklü fidan ya da tüplü fidanlar kullanılmış; ağaçlandırma uygulamaları, bölgenin iklim koşullarına uygun olarak eş yükselti eğrilerine paralel düzende yapılmıştır.

Seçilen türler arasında, ekolojik koşullara uygun yapıdaki yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*), antep fıstığı (*Pistacia vera*), badem (*Prunus dulcis*), kızılçam (*Pinus brutia*), elderika çamı (*Pinus elderica*), fıstık çamı (*Pinus pinea*), halep çamı (*Pinus halepensis*) ve kara meşe (*Quercus libani*) vb. türlerin ağırlıklı olarak yer aldığı görülmektedir. Bu kapsamda toplam 403,605 adet halep çamı (*Pinus halepensis*), 62,125 adet elderika çamı (*Pinus elderica*), 545,190 adet kızılçam (*Pinus brutia*), 117,142 adet çıplak köklü badem (*Prunus dulcis*), 32,593 adet tüplü badem (*Prunus dulcis*), 42.729 adet tohum badem, 25,845 adet fıstık çamı (*Pinus pinea*), 517,058 adet antepfıstığı (*Pistacia vera*), 5,760 adet alıç (*Crataegus monogyna*), 810 adet çitlembik (*Celtis australis*) dikilmiştir. 132,550 adet meşe (*Quercus L.*) tohum ekimi yapılmıştır (Çakar, 2019). Seçilen türlerin, doğal yurtlu olması ve dolayısıyla yerel yetişme koşullarına yakınlığı, alınan verimin artmasında ve projelerin başarısında önemli bir faktör olarak ifade edilebilir.

Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında değerlendirilen projelerin temel amacının ortak paydada Atatürk Barajı Havzası topraklarının erozyon ile taşınmasını azaltarak, taşınan toprakların Baraj rezervuarına ulaşmasını

engellemek ve barajın ekonomik ömrünü uzatmak olduğu ifade edilebilir. Bu amaç, erozyon kontrol süreçlerini takiben ağaçlandırma çalışmaları ile desteklenmiş ve dört uygulama projesi sürecinde toplam 2053,93 ha alanda ağaçlandırma yapılmıştır. Böylelikle, sürdürülebilirlik çerçevesinde alanların koruma-kullanma dengesinin de gözetildiği görülmektedir. Ağaçlandırma çalışmaları kapsamında, ağaçlandırılan alanlar 5 yıl boyunca tamamlama sürecine tabi tutulmuş ve kuruyan/zarar gören bitkiler yenilenmiştir. Yapılan tüm uygulamalar sonucunda, Baraj kıyısında tarımsal faaliyet yürütülen, düzensiz yağışlar nedeniyle bitkisel materyalin zarar gördüğü ve devamlı olarak aşınan yamaç arazileri kontrol altına alınmış ve Baraj rezervuarına taşınan sediment miktarı oldukça azaltılmıştır.

Çalışmanın tasarlanması aşamasında, belirlenen araştırma sorusu; “Çalışma alanında erozyon ile mücadele çalışmaları kapsamında ağaçlandırma projelerinin etkinliği nedir?”. Kuram ve uygulama boyutunda, ağaçlandırma süreçleri, erozyon ile mücadelede oldukça önemli bir araçtır. Bu nedenle, peyzaj onarımı süreçlerinin doğru planlama teknikleri ile desteklenmesi ve optimal kararlar almak adına oldukça önemlidir. Erozyon ile mücadeleye yönelik çözüm odaklı uygulamalar arasında yer alan bitkilendirme çalışmaları, farklı alan kullanımlarının doğal ve sosyoekonomik yönden desteklenmesini sağlayan önemli bir araç olarak ifade edilebilir.

Çalışma alanı ölçeğinde, bölgenin yarı kurak iklim özelliklerine sahip olması ve küresel ısınmanın etkisiyle, yağışların düzensiz, kimi zaman ise çok şiddetli olması süreç üzerinde yönlendirici etkiye sahiptir. Ağaçlandırma çalışmaları kapsamındaki ekim-dikim süreçlerinde farklı nedenlerle uygulama alanlarında bazı kesimler ağaçsız kalması ise, çok şiddetli gözlenen yağışlarda o bölgelerdeki toprağın taşınmasına neden olmuştur. Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler doğrultusunda ifade edilebilir ki; ağaçlandırma-bitkilendirme etaplarında yer örtücü bitkilerin kullanılmaması, projelerden elde edilen kazanımların azalmasına neden olmuştur. Bu nedenle, söz konusu alanlardaki ağaçlandırma uygulamalarının etkinliğinin artırılması amacıyla yer örtücü bitkiler ile bölgenin doğal yurtlu diğer sürünücü bitkilerine yer verilmesi, toprak muhafazası verimini artırmak adına büyük önem taşımaktadır.

Çalışmada ayrıca, ağaçlandırma süreçlerinde tekdüze plantasyon uygulamalarının gerçekleştirildiği görülmüştür. Teknik yönden değerlendirildiğinde, tüm parselin plantasyon sürecinin tek tür ile yürütülmesi (sadece kızılçam/*Pinus brutia* tesisi gibi), olası yangınların kontrolünü güçleştirmektedir. Sadece kızılçam (*Pinus brutia*) değil, tüm çam türlerinin (*Pinus* sp.) yangına karşı duyarlılığının yüksek düzeyde olması, olası yangınların yayılma hızını artıran bir faktördür. Bu duruma yönelik bir çözüm önerisi olarak, çam (*Pinus* sp.) ormanlarının meşe (*Quercus* sp.) ile karışık tesis edilmesi gösterilebilir. Bu gibi uygulamalar, olası yangınların yayılma hızını azaltmada ve yangınla mücadeleyi kolaylaştırmada önemli bir etki oluşturacaktır.

Projelere ilişkin dikkat çekilmesi gereken bir diğer konu ise, ağaçlandırma uygulamalarında tercih edilen türlerin meyvelilik durumuna dikkat edilmesi gerekliliği yer almaktadır. Türlerin meyveli ya da meyvesiz olma durumu göz önüne alınmadan tekdüze tesis edildiği uygulamalar, aynı tür bireylerinin

fizyolojik yönden beslenme ve duraklama dönemlerinin eş zamanlı olması nedeniyle uygulama alanlarında su ve besin maddesinin aynı dönemde kullanılmasına yol açmaktadır.

Çalışma kapsamında varılan çıkarımlar arasında ayrıca, peyzaj onarımı amacıyla projelerde kullanılan yapay materyallerin yetersizliği gözlenmiştir. Bu durumun yapılan ağaçlandırma çalışmalarında, kullanılan tohum ve fide kayıplarının da fazla olmasına neden olduğu saptanmıştır.

Doğal ve kültürel değerlerin sürdürülebilirliği, nitelikli yürütülen teknik çalışmalar ile sağlanır ve desteklenir. Erozyonun olumsuz etkilerini kontrol altına alarak önlemek, doğal sistem bütünlüğünü desteklemenin yanı sıra sosyoekonomik ölçekte ülke vatandaşlarının yaşam standartlarını yükseltmek adına da olanaklar sağlayacaktır. Bu nedenle, yasal sınırlayıcılar ve bilimsel bulgular çerçevesinde peyzaj onarımı tekniklerinden yararlanarak tahrip olan alanların yenilenmesi sürdürülebilir kalkınmayı destekleme hedefi taşımaktadır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında belirlenen öneriler aşağıda sunulmuştur;

(i) Erozyonla mücadele çalışmalarının kısa, orta ve uzun vadeli hedefleri ve beklentileri nitel ve nicel araştırma süreçlerine dayandırılmalıdır. Kalkınmanın sürdürülebilir tabanlı yönetimi, söz konusu çevresel dinamikler ve bu kapsamdaki doğal kaynak rezervleri gözetilerek sağlanmalı, ilerleyen süreçlerdeki potansiyel olumsuz sonuçların önüne geçilmelidir. Böylelikle erozyona uğrayan alanların geri kazanılarak etkin ve dengeli kullanımı desteklenebilir.

(ii) Erozyon nedeniyle tahrip olan ya da yüksek potansiyele sahip alanlara yönelik yürütülen planlama süreçlerinde analitik araçlardan yararlanmak ve koruma-kullanma dengesinin gözetildiği somut öneriler geliştirmek, birbiri ile çelişen kullanım taleplerinde optimal bir denge sağlayacaktır.

(iii) Erozyonla mücadele çalışmaları kapsamında yürütülen bitkilendirme çalışmalarının, ağaçlandırma uygulamalarının yanı sıra kış aylarında gelişen yer örtücü otsu türleri de kapsamı, suyun toprağa alımını ve yüzey koruma düzeyini yükseltmede etkili bir çözüm sunacaktır.

(iv) Karışık türlerden tesis edilen ormanlar hastalık ve zararlılara karşı, tekdüze tesis edilenlere kıyasla daha dayanıklıdır. Bu nedenle bitkilendirme/ağaçlandırma çalışmaları kapsamındaki tür seçimi aşamasında bu durum göz önüne alınmalıdır.

(v) Erozyonla mücadele çalışmalarının etkinliği peyzaj onarımı süreçlerinin başarısı için oldukça önemlidir. Projeler kapsamında yürütülen ağaçlandırma etaplarında kullanılan bitkilerin gelişme süreci tamamlanana dek, yapay materyallerden yararlanır. Bu nedenle, proje alanlarında işlevselliği destekleyici nitelikte yapay materyal kullanımı, gerek projelerin başarısı, gerekse tohum ve fide kayıplarını önlemede etkinlik sağlayıcı bir çözümdür.

Sonuç olarak ifade edilebilir ki; erozyon kontrolü çalışmalarına yönelik karar verme ve uygulama faaliyetleri kapsamında; ekolojik, sosyal ve ekonomik tabanlı gereksinim-beklentilerin göz önüne alındığı bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesi oldukça önemlidir. Böylelikle, hem çevre bileşenlerinin hem de kamu yararının gözetildiği proje örnekleri sayı ve nitelik yönünden artış gösterebilir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen ağaçlandırma projeleri ve danışmanlığını Prof. Dr. Nuriye Say'ın yaptığı ve Merve Melike ÇAKAR tarafından yürütülen "Atatürk Barajı Gölü Çevresinde Yürütülen Erozyon Kontrolü ve Ağaçlandırma Projelerinin Değerlendirilmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezinde yer alan verilerden yararlanılmıştır.

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.

Kaynaklar

- Adıyaman İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Coğrafya, <https://adiyaman.ktb.gov.tr/TR-61344/cografya.html>, 2021, (Erişim tarihi: 20.09.2021).
- Akay AE., Erdaş O., Reis M., Yüksel A. Estimating sediment yield from a forest road network by using a Sediment Prediction Model and GIS techniques. *Building and Environment* 2008; 43 (5): 687-695.
- Akay AE., Sessions J. Applying the decision support system, TRACER, to forest road design. *Western Journal of Applied Forestry* 2005; 20(3): 184-191.
- Akpınar N. Madencilik faaliyetleri sonrası onarım çalışmalarında bitkilendirme süreci. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara.
- Akpınar N., Çelem H. Peyzaj mimarlığı kongresi. TMMOB Peyzaj Mimarları Odası, 2000, Ankara.
- Altınbaş Ü., Çengel M., Uysal H., Okur B., Okur N., Kurucu Y., Delibacak, S. Toprak bilimi. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü. Bornova, İzmir, 355s, 2006.
- Atatürk Barajı. Atatürk Barajı görselleri, <http://www.ataturkbaraji.com/tr/30127/Ataturk-Baraji-Genel-Gorselleri>, 2017, (20.01.2022).
- Atatürk Barajı. Atatürk Barajı, <http://www.ataturkbaraji.com/tr/30123/ATATURK-BARAJI>, 2022, (20.01.2022).
- Bagerello V., Ferro V. Assessment of soil erosion. In *International Commission of Agricultural Engineering (Ed.), CIGR handbook of agricultural engineering 1999*, (pp. 153–184). St Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers.
- Bahtiyar M. Su erozyonun oluşumu ve nedenleri. 2006. (tema.org.tr /Trcevre_Kutuphanesi/Erozyon/Pdf/Toprakerozyonuolusumunedenleri. Pdf, (14.06.2019).
- Baraj Havzaları Yeşil Kuşak Ağaçlandırma Eylem Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013.

- Çakar MM. Atatürk barajı gölü çevresinde yürütülen erozyon kontrolü ve ağaçlandırma projelerinin değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 2019.
- ÇEM. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, <https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Menu/19/Tarihce>, 2022, (17.01.2022).
- Çevre ve Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Yönetimi Çalışma Grubu Raporu, On Birinci Kalkınma Planı, 2018, Ankara.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Çevresel Göstergeler, Ormanlık Alanların Dağılımı, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ormanlik-alanlarin-dagilimi-i-85782>, 2022, (17.01.2022).
- Çoban A., Erol UE. Türkiye’de kurulan rüzgâr enerji santralleri (RES) peyzaj onarım çalışmalarının peyzaj mimarlığı açısından irdelenmesi: Osmaniye-Bahçe Rüzgâr Enerji Santrali. Ormanlık Dergisi 2015; 11(2): 54-73.
- Çölleşmeyle Mücadele Eylem Planı (2019-2023). 2020 Yılı Çölleşme İstatistikleri, Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, <https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Menu/50/Collesme-Istatistikleri>, 2020, (20.01.2022).
- Daniels RB., Giliam JW., Nelson LA. Quantifying the effects of past erosion on current productivity. *Journal of Soil and Water Conservation* 1987; 42: 183-187.
- Deniz T., Ok K. Erozyon kontrolü çalışmalarında değer analizi. *Journal of the Faculty of Forestry* 2016; 66(1): 139-158.
- Devlet Su İşleri. Atatürk Barajı. <http://www.dsi.gov.tr/projeler/ataturk-baraji>, 2022, (Erişim tarihi: 22.01.2022)
- Hadley RF. Drainage basin sediment delivery. IAHS-AIHS Publication, No 159. IAHS; Wellingford, Oxfordshire, UK, p. 487, 1986.
- OGM. Türkiye Orman Varlığı 2020. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz-sitesi/TurkiyeOrmanVarligi/Yayinlar/2020%20T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf>, 2020, (18.01.2022).
- Özbeç D. Açık ocak madencilik sonrası onarım çalışmalarında peyzaj mimarlarının rolü. TMMOB Peyzaj Mimarları Odası Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara.
- Özsoy G. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleri kullanılarak erozyon riskinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 154s, 2007.
- Sarı M. Toprak Erozyonuna Farklı Bir Bakış 2005. (tema.org.tr/trcevre_Kutuphanesi/Erozyon).
- Say N. Peyzaj Onarımı Dersi Notları. Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2016, Adana.
- Söğüt Z., Yalçınkaya NM. Ağaçlandırma Dersi Notları. Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2021, Adana.

Söğüt, Z. Ağaçlandırma Dersi Notları. Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 2019, Adana.

Tarım ve Orman Bakanlığı. 2021 Yılı Yanan Alanlar, <https://www.tarimorman.gov.tr/Sayfalar/AnaSayfa.aspx>, 2022, (20.01.2022).

Tarım ve Orman Bakanlığı. Erozyon Kontrolü. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, 2021.

TÜBİVES. Türkiye Bitkileri Veri Servisi. <http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=dizin&&familya=Acanthaceae>, 2021, (15.06.2021).

Zengin M., Özer S., Özgül M. Çoruh havzası (İspir-Pazaryolu) erozyon durumunun CBS ile belirlenmesi ve çözüm önerileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2009, 40(1): 9-19.

Hardox 500 Çeliğinin Lazerle İşlenmesinde Kesme Geometrisine ve İşleme Parametrelerine Bağlı Kesim Kalitesinin Değerlendirilmesi

Nihal EKSİLMEZ¹, Barış ÖZLÜ^{2*}, Halil DEMİR³

¹Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

²Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 68100, Aksaray

³Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

¹<http://orcid.org/0000-0001-9623-903X1>

²<http://orcid.org/0000-0002-8594-1234>

³<http://orcid.org/0000-0002-9802-083X>

*Sorumlu yazar: barisozlu@aksaray.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.10.2021

Kabul tarihi: 28.01.2022

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Lazer kesim

Hardox 500

Yüzey pürüzlülüğü

Üst kerf genişliği

Üst kerf genişliği

ÖZ

Lazer kesme işleminde yüzey pürüzlülüğünün (Ra), üst kerf genişliğinin (ÜKG) ve alt kerf genişliğinin (AKG) kalitesi farklı kesme geometrilerinde uygun kesme parametrelerinin seçimine bağlıdır. Lazer kesme işlemi yapan firmaların minimum RA, ÜKG ve AKG en önemli talepleri arasındadır. Bu çalışmada, lazerle Hardox 500 çeliği farklı geometrilerde ve kesme parametrelerinde kesilerek kesim geometrilerinin ve kesme parametrelerinin kesim kalitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde üç farklı kesme geometrisi (Düz, V ve yay) kullanılmıştır. Her geometri farklı kesme parametrelerinin kombinasyonunda kesilmiştir. Sonuç olarak; Hardox 500 çeliğinin, lazerle düz geometride kesilmesinde odak noktasının (ON) iş parçasına yaklaşması, gaz basıncının (GB) ve kesme hızının (KH) artırılması ile Ra'nın en düşük değerine (2,099 µm) ulaşılmıştır. En yüksek Ra değeri yay geometrisinde ON'nin iş parçasından uzaklaşması, GB'nin en düşük değerinde ve KH'nin maksimum değerinde 4,795 µm ölçülmüştür. Üç kesme geometrisi için -0,5 mm ON'da, 850 mm/sn KH'da ve 0,7 bar GB'da ÜKG'nin ve AKG'nin minimum değerlerine ulaşılmıştır.

Evaluation of Cut Quality Based on Cutting Geometry and Machining Parameters in Laser Machining of Hardox 500 Steel

Research Article

Article History:

Received: 17.10.2021

Accepted: 28.01.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Laser cut

Hardox 500

Surface roughness

Top kerf width

Bottom kerf width

ABSTRACT

The quality of surface roughness (Ra), top kerf width (TKW) and bottom kerf width (BKW) in laser cutting depends on the selection of appropriate cutting parameters in different cutting geometries. Minimum RA, TKW and BKW are among the most important demands of laser cutting companies. In this study, the effect of cutting geometries and cutting parameters on the cutting quality was investigated by cutting Hardox 500 steel in different geometries and cutting parameters with laser. Three different cutting geometries (Flat, V and arc) were used in the experiments. Each geometry was cut at combination of different cutting parameters. As a result; In laser cutting of Hardox 500 steel in flat geometry, the lowest value of Ra (2,099 µm) was reached by increasing the gas pressure (GP) and cutting speed (CS), while the focal point approached the workpiece. The highest Ra value, the moving away of FP from the workpiece in the arc geometry, was measured at 4.795 µm at the lowest value of GP and maximum value of CS. The minimum values of TKW and BKW were reached at -0.5 mm FP, 850 mm/sec CS, and 0.7 bar GP for the three cutting geometries.

To Cite: Eksilmez N., Özlü B., Demir H. Hardox 500 Çeliğinin Lazerle İşlenmesinde Kesme Geometrisine ve İşleme Parametrelerine Bağlı Kesim Kalitesinin Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):301-314.

Giriş

Lazerle kesme işlemi, imalat endüstrisinde, metal, ahşap, cam ve plastik gibi çeşitli malzemeleri kesmek için kullanılan termal tabanlı işleme yöntemlerinden biridir. Lazer kesim teknolojisi, kullanım kolaylığı, düşük maliyet, yüksek hassasiyet, küçük ısıdan etkilenen bölge, minimum deformasyon, minimum atık malzeme, yüksek ürün kalitesi ve işleme hızı nedeniyle imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Madić ve Radovanović 2013; Wei ve ark., 2016). Ayrıca temassız bir işlem olan lazer kesme işlemi, kesilmesi zor, kırılğan, yumuşak, ince, elektrik iletkenliği olan ve olmayan gelişmiş mühendislik malzemelerin kesilmesi için çok uygun bir işlemdir (Chen ve ark., 2016). Lazer kesme işleminde, iş parçası yüzeyine odaklanmış lazer ışını odak yoğunluğu ve iş parçası malzemesine bağlı olarak iş parçasının erimesine ve buharlaşmasına neden olur. Lazer kesme işleminde kullanılan gaz yardımıyla erimiş ve buharlaşmış malzeme kesme bölgesinden uzaklaştırılır (Tamrin ve ark., 2015; Moradi ve ark., 2017). Ergimiş metalin yüksek basınçlı gaz yardımıyla kesme bölgesinden uzaklaştırılması ile kerf adı verilen boşluk oluşmaktadır. Elde edilen bu boşluk ne kadar küçük olursa o kadar iyi olacağı bildirilmiştir. Ayrıca kesme işlemi sırasında oluşan üst kerf genişliği genelde alt kerf genişliğinden daha geniş olmaktadır (Nyon ve ark., 2012).

Literatürde farklı malzemelerin lazerle kesilmesinde parça kalitesini etkileyen lazer kesme parametrelerinin optimizasyonu için birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Stournaras ve ark. (2009), alüminyum alaşımının lazerle kesilmesinde işleme parametrelerinin (lazer gücü, kesme hızı, frekans ve gaz basıncı) kerf genişliği ve ısıdan etkilenen bölgeye etkileri incelenmiştir. Kesme hızı ve lazer gücünün kerf genişliği ve ısıdan etkilenen bölge üzerine en etkin parametrelerin olduğunu görülmüştür. Genel olarak, artırılan lazer gücü ve azaltılan kesme hızı, kerf genişliğinin ve ısıdan etkilenen bölgenin artmasına neden olduğunu tespit edilmiştir.

Çırakoğlu ve ark. (2021), Hardox 450 çeliğinin lazerle delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkisini hem deneysel hem de istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kesme hızının ve lazer gücünün artması yüzey pürüzlülüğünü azalttığı, gaz basıncının ve odak noktasının artması yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görülmüştür. Gaz basıncı, kesme hızı ve lazer gücünün artması ile üst ve alt delik dairesellik toleransı artarken, odak noktasının azalması üst ve alt delik dairesellik toleransının azalmasına neden olmuştur. Varyans analizi sonucu yüzey pürüzlülüğü ile üst ve alt delik dairesellik toleransı için sırası ile en etkin parametre %77,17 %51,40 ve %71,80 ile gaz basıncı olmuştur. Duan ve ark. (2001), farklı lazer kesme parametrelerinin, çoklu yansımalarını ve gaz basıncının kesilen bölgenin geometrisine etkisi değerlendirilmiştir. Kesilen bölgenin şeklini kesme hızı, lazer gücü ve odak noktası güçlü bir şekilde etkilediği görülmüştür. Bununla birlikte, yardımcı gaz basıncının kesme geometrisi üzerinde hafif bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Lamikiz ve ark. (2005), lazer kesme işlemi ile farklı kalınlıklara sahip sac malzemelerin kesilmesinde optimum çalışma alanı ve kesme koşulları araştırılmıştır. Farklı malzeme kalınlığının lazerle işlenmesinde çalışma alanı ve kesme koşulları bakımından çok farklı davranışlar göstermiştir. Son olarak, odak

noktasının en iyi pozisyonu iş parçasının alt kısmında olduğu tespit edilmiştir. Işık ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada, lazerle St-37 malzemesinin kesilmesinde kesme parametrelerinin kerf genişliğine ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Lazer kesme işleminde kullanılan deney tasarımı Taguchi L32 dizinine göre hazırlanmıştır. Lazer kesme parametresi olarak iki farklı frekans, dört farklı gaz basıncı ve dört farklı kesme hızı kullanılmıştır. Kerf genişliği ve yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametreleri sırası ile A1B1C4 ve A2B1C4 olmuştur. ANOVA sonucunda kerf genişliği ve yüzey pürüzlülüğü için en etkili kesme parametreleri sırası ile %54,26 gaz basıncı ve %55,78 frekans olduğu tespit edilmiştir. Özlü (2021), yaptığı çalışmada, Al 5083 alaşımının lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin kerf kalitesine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi hem deneysel hem de istatistiksel (Taguchi ve Gray Taguchi) olarak incelemiştir. Deney tasarımı için Taguchi L18 ortogonal dizini kullanılmıştır. Al 5083 alaşımının kesilmesinde, iki farklı gaz basıncı, üç farklı kesme hızı ve lazer gücü kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Üst ve alt kerf genişliği, kerf koniği ve yüzey pürüzlülüğü en düşük değerleri sırasıyla 2,219 mm, 2,010 mm, 0,9840° ve 2,394 µm olmuştur. S/N oranları incelendiğinde en ideal kesme parametrelerinin üst ve alt kerf genişliği için A1B3C1, kerf koniği için A2B1C3 ve yüzey pürüzlülüğü için A2B3C3 olarak belirlenmiştir. Gri ilişki analizine göre bütün çıktı parametrelerinin en küçük değerleri için optimum lazer kesme parametreleri A1B3C1 olarak belirlenmiştir. Joshi ve Sharma (2018), tarafından yapılan çalışmada, 1,3 mm kalınlığında alüminyum alaşımının lazer kesme işlemi sonrası kesme parametrelerinin işlenen yüzeyin kerf geometrisini ve ısıdan etkilenen bölgeye (HAZ) etkisinin belirlenmesinde GRA ve bulanık mantık melez yaklaşımı kullanılarak eş zamanlı olarak optimize edilmiştir. Çalışmada kesme parametresi olarak lamba akımı, darbe genişliği, darbe frekansı ve kesme hızı seçilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre en etkin lazer kesme parametresi %35,32 ile darbe frekansının olduğunu, hibrit yaklaşımın uygulanmasıyla da lazer kesme işleminde KT'nin ve HAZ'ın azaltılabildiği tespit edilmiştir. Jarosz ve ark. (2016), 10 mm kalınlığında AISI 316 L paslanmaz çeliğinin lazer kesme işlemi ile işlenmesinde lazer kesme hızının, HAZ'ın ve kesilen yüzeylerin Ra üzerine etkisini ve kesilen yüzeylerin mikro yapıları incelemiştir. Çalışmanın sonucunda lazer kesme hızının; Ra, HAZ'ın genişliği, çapak yüksekliği ve yanmış malzeme varlığı gibi makro düzensizlikler üzerine gözle görülür bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Cebeci ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada, lazer tezgâhında AISI 310 paslanmaz sac malzemesinin farklı kesme parametrelerinde kesilmesinde kesme parametrelerinin kerf genişliğine ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelemiştir. Sonuç olarak; en düşük yüzey pürüzlülüğü basıncın 1bar, frekansın 5000Hz ve kesme hızının 32 mm/dk olduğu kesme parametrelerinde 2,78 µm ölçülmüştür. En düşük kerf genişliği basıncın 0,8 bar, frekansın 3500 Hz ve kesme hızının 20 mm/dk olduğu kesme parametrelerinde 0,79 mm olmuştur. Yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızının ve frekansın yükselmesi ile düştüğü görülmüştür. Artan kesme hızı ile kerf genişliğinin azaldığı, frekans değerinin artması kerf genişliğinin arttığı görülmüştür.

Yapılan literatür taramasında, imalat endüstrisinde farklı malzemelerin lazerle kesilmesinde farklı kesme parametrelerinin ÜKG'ne, AKG'ne ve Ra'ya etkilerini incelemek için farklı çalışmaların

yapıldığı görülmüştür. Ancak Hardox 500 çeliğinin lazerle kesilmesi üzerine çok az ya da hiç çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Yapılan çalışma ile Hardox 500 çeliğinin lazerle kesilmesinde kesim geometrisinin ve kesme parametrelerinin ÜKG'ne, AKG'ne ve Ra'ya etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, lazer kesme işlemlerinde kullanılmak üzere ticari olarak temin edilen 6 mm kalınlığındaki Hardox 500 çeliği seçilmiştir. 1500 MPa çekme mukavemetine, 1300 MPa akma mukavemetine ve 420-540 HB sertliğe sahip iş parçasının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. İş parçasının kimyasal kompozisyonu (ağırlıkça %).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0,048	0,203	0,253	0,012	0,026	12,24	1,388	9,064	1,582

Lazer kesme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca her kesme geometrisi için kullanılan deney kombinasyonları ile Ra, ÜKG ve AKG sonuçları Tablo 3'de görülmektedir. Kesme deneyleri Bystronic-BySprint Pro 4020 CNC lazer tezgâhında yapılmıştır. Lazer kesme işlemleri sırasında lens çapı 38,04 mm ve nozul çapı 1 mm seçilmiştir. Lazer kesme işlemleri sırasında Oksijen (O₂) gazı kullanılmıştır.

Tablo 2. Lazer kesme parametreleri ve seviyeleri.

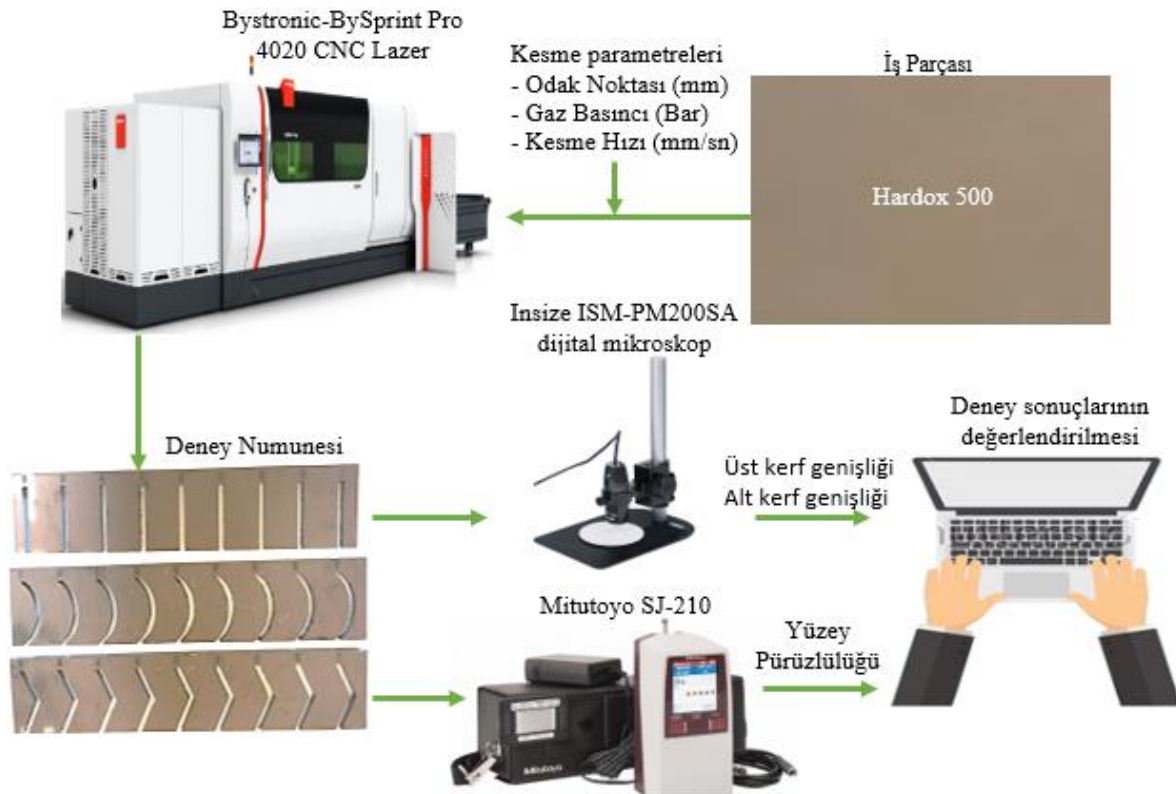
Kesme Parametreleri	Birimler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme Geometrisi		Düz Kesim	V Kesim	Yay Kesim
Odak Noktası (ON)	mm	-0,5	0	0,5
Gaz Basıncı (GB)	bar	0,7	0,8	0,9
Kesme Hızı (KH)	mm/sn	850	900	950

Tablo 3. Lazer kesme işleminde kullanılan deney kombinasyonları ve sonuçları.

Deney No	Kesme Parametreleri			Ra (µm)	ÜKG (mm)	AKG (mm)
	ON (mm)	GB (Bar)	KH (mm/sn)			
Düz Kesim						
1	-0,5	0,7	850	2,704	5,06	5,02
2	-0,5	0,8	900	2,592	5,18	5,13
3	-0,5	0,9	950	2,096	5,27	5,24
4	0,0	0,7	900	3,082	5,19	5,15
5	0,0	0,8	950	2,950	5,29	5,26
6	0,0	0,9	850	2,555	5,25	5,22
7	0,5	0,7	950	3,312	5,33	5,29
8	0,5	0,8	850	3,063	5,26	5,24
9	0,5	0,9	900	2,810	5,37	5,32
V Kesim						
1	-0,5	0,7	850	3,538	5,12	5,07
2	-0,5	0,8	900	3,303	5,28	5,22
3	-0,5	0,9	950	2,756	5,37	5,32
4	0,0	0,7	900	4,112	5,29	5,24

5	0,0	0,8	950	3,620	5,4	5,35
6	0,0	0,9	850	3,138	5,36	5,3
7	0,5	0,7	950	4,378	5,42	5,38
8	0,5	0,8	850	3,899	5,37	5,33
9	0,5	0,9	900	3,498	5,51	5,45
Yay Kesim						
1	-0,5	0,7	850	3,849	5,21	5,13
2	-0,5	0,8	900	3,524	5,38	5,29
3	-0,5	0,9	950	3,009	5,45	5,37
4	0,0	0,7	900	4,532	5,37	5,26
5	0,0	0,8	950	3,753	5,48	5,39
6	0,0	0,9	850	3,257	5,43	5,32
7	0,5	0,7	950	4,795	5,49	5,41
8	0,5	0,8	850	4,158	5,47	5,40
9	0,5	0,9	900	3,667	5,59	5,49

Kesilen numunelerin Ra ölçümleri öncesi kesme sırasında yüzeyde biriken tozlar basınçlı hava ile temizlenmiştir. Numunelerin Ra ölçümlerinde Mitutoyo SJ-210 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçümleri kesme eksenine dik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Lazerle kesilen yüzeyin farklı noktalarından beş ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama Ra değeri belirlenmiştir. Lazer kesme işlemleri sonucu oluşan ÜKG'nin ve AKG'nin ölçümünde 1600x1200 çözünürlüğe, 200X'e kadar büyütme kapasitesi olana insize marka dijital stereo mikroskop kullanılmıştır. Kesme geometrisi boyunca yapılan 5 ölçümün aritmetik ortalaması hesaplanarak ÜKG ve AKG elde edilmiştir. Yapılan çalışmada izlenen deney akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



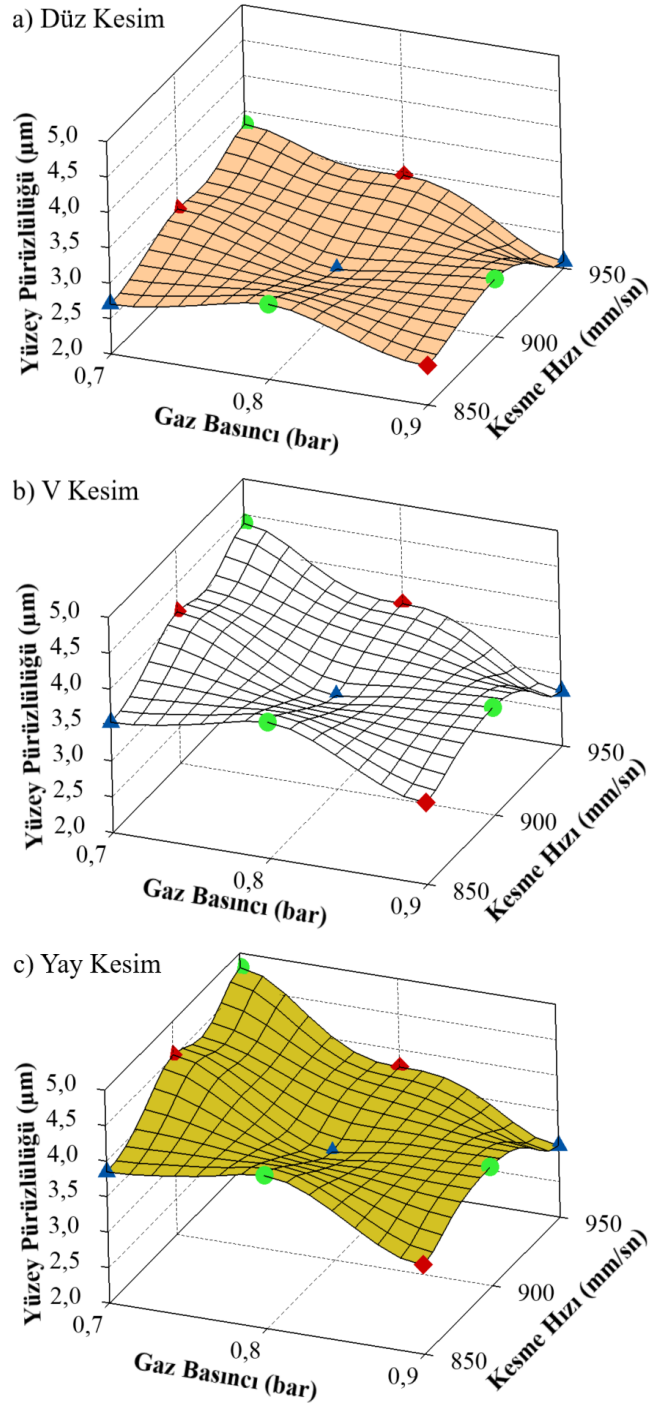
Şekil 1. Deney akış şeması.

Bulgular ve Tartışma

Yüzey pürüzlülüğü

Bu çalışmada, farklı kesme parametrelerinde 6 mm kalınlığındaki Hardox 500 çeliği düz, V ve yay geometrilerinde kesilmiştir. Kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin Ra üzerine etkileri araştırılmıştır. Lazer kesme işleminde kesme geometrisine ve kesme parametrelerine bağlı Ra değerlerindeki değişimler yüzey grafiği olarak Şekil 2' de verilmiştir.

Şekil 2-a'da Hardox 500 çeliğinin düz geometride -0,5 mm ON'da, 850 mm/sn KH'da ve 0,7 bar GB'da lazerle kesilmesinde Ra değeri 2,704 μm olmuştur. KH ve GB'nın sırası ile %10,5 ve %28,6 oranında artırılmasıyla Ra değeri 2,096 μm ölçülmüştür. ON'nın 0 mm çıkarılması ile 0,7 bar GB'da ve 900 mm/sn KH'da Ra değeri 3,082 μm ölçülmüştür. GB'nın %28,6 artırılması ve KH'nın %5,6 oranında azaltılması ile Ra değeri %17,09 oranında azalmıştır. ON'nın 0,5 mm çıkarılmasıyla, 950 mm/sn KH'da ve 0,7 bar GB'da Ra değeri 3,312 μm ölçülmüştür. KH'nın 900 mm/sn düşürülmesi ve GB'nın 0,9 bar'a çıkarılması ile Ra değeri %15,16 oranında azalarak 2,810 μm olmuştur.



Şekil 2. Lazer kesme işleminde kesme parametrelerinin Ra etkisi (ON; ▲ : -0,5 mm, ● : 0 mm, ◆ : 0,5 mm)

Şekil 2 b-c incelendiğinde ise kesme parametrelerine ve kesme geometrisine bağlı Ra değerlerinde artma görülmüştür. Şekil 2-b'ye bakıldığında -0,5 mm ON'da, 0,7 bar GB'da ve 850 mm/sn KH'da V kesim için 3,538 µm ile en düşük Ra değerleri ölçülmüştür. Aynı lazer kesme parametrelerinde yay kesim için en düşük Ra değeri, V kesime göre ortalama %8,8 oranında artarak 3,849 µm olmuştur (Şekil 2-c).

Genel olarak Ra için deney sonuçlarına bakıldığında her üç geometride ON'nın iş parçasına yaklaşması, KH'nın ve GB'nın artması ile Ra değerlerinde azalma görülmüştür. ON'nın iş parçasına

yaklaşması, KH'nın ve GB'nın artmasıyla Ra'nın azalması literatürdeki diğer çalışmalarla uyumluluk göstermiştir (Chen, 1999; Ghany ve Newishy 2005; Stournaras ve ark., 2009). Yüksek KH ve GB'da yapılan kesme işlemlerinde ergimiş malzeme kesme bölgesinden daha hızlı ve etkili bir şekilde uzaklaştırıldığı görülmüştür. Bu da lazer kesme işlemlerinde iş parçalarının yüzeylerini daha pürüzsüz hale geleceği ifade edilmiştir. Kesim geometrisi için Ra değerleri incelendiğinde, bütün lazer kesme parametrelerinde en düşük Ra değeri düz şekilde yapılan kesmelerde ölçülürken, en büyük Ra yay şeklinde yapılan kesme işlemlerinde ölçülmüştür. Bunun nedeninin, lazer kesme sırasında CNC lazer tezgâhının iki eksenin aynı anda hareket etmesi girinti ve çıkıntılı yüzeyleri oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca CNC tezgâhlarında birden çok eksenin aynı anda hareket etmesi ile istenen kesme hızına ulaşamamasına neden olmaktadır. Buda V ve yay biçiminde kesme işlemlerinde Ra'nın artmasının diğer bir nedeni olarak düşünülmektedir.

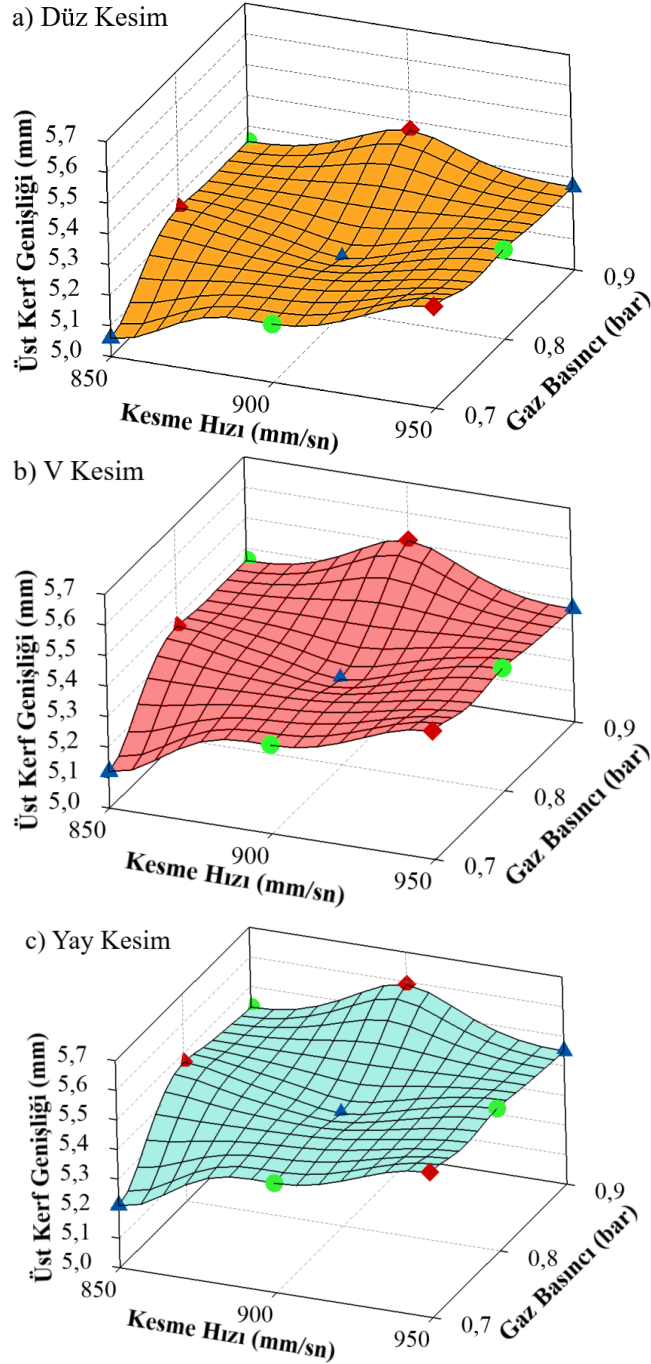
Üst kerf genişliği

Lazer kesme işleminde kesim kalitesi için kerf genişliğinin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Kerf genişliği, lazer kesme parametrelerinden ve kesme geometrisinden etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada, kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin ÜKG'ne etkileri değerlendirilmiştir.

Düz kesim ve kesme parametrelerinin ÜKG etkileri Şekil 3-a'da sunulmuştur. İş parçası ON'nın -0,5 mm, GB'nın 0,7 bar ve KH'nın 850 mm/sn olduğu deney kombinasyonunda yapılan düz kesimde 5,02 mm ile en düşük ÜKG ölçülmüştür. GB'nın ve KH'nın sırası ile 0,9 bar ve 950 mm/sn'ye çıkarılması ile ÜKG %4,15'lik artışla 5,27 mm ölçülmüştür. ON'nın 0 mm'ye çekilmesi ile GB'nın 0,7 bar ve KH'nın 900 mm/sn yapılan kesme deneylerinde ÜKG 5,19 mm olmuştur. GB'nın %28,6 (0,9 bar) artırılması ve KH'nın %5,6 (850 mm/sn) düşürülmesiyle yapılan deneyde ÜKG %1,17 oranında artarak 5,25 mm olmuştur. ON'nın 0,5 mm'ye çekilmesiyle 0,7 bar GB'da ve 950 mm/sn KH'da ÜKG 5,33 mm ölçülmüştür. Aynı ON'da GB'nın 0,9 bar çıkarılması ve KH'nın 900 mm/sn düşürülmesiyle ÜKG %0,75 oranında artarak 5,37 mm ölçülmüştür. V ve yay geometrileri için aynı kesme parametreler kullanılarak ÜKG'deki değişimler Şekil 3 b-c'de verilmiştir. İş parçasının V ve yay geometrilerinde -0,5 mm ON'da, 0,7 bar GB'da ve 850 mm/sn KH'da lazerle kesilmesinde en düşük ÜKG'leri sırası ile 5,12 mm ve 5,21 mm olmuştur.

Düz, V ve yay kesimler için optimum kesme parametrelerinde elde edilen ÜKG'lerine ait mikroskop görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir. Yapılan çalışmada, GB'nın ve KH'nın artması ile ÜKG artışı görülmüştür. KH'nın artması kerf genişliğini azaltacağı literatürde yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Işık ve ark., 2021). Ancak GB'nın artırılması ergimiş metali kesme bölgesinden daha fazla miktarda uzaklaştırılması nedeni ile kerf genişliğinin artmasına sebep olmaktadır (Ay ve Yücelişli, 2018). Ayrıca ON iş parçasının içerisinde kaldığı zaman kerf genişliği minimuma düştüğü görülmüştür. Bu durumu, kerften kütle çıkarma hızı ve ekzotermik oksidasyon reaksiyonları ile açıklanabilir. Bu da

literatürde yapılan çalışma ile paralellik göstermektedir (Karatas ve ark., 2006; Dubey ve Yadava, 2008). Kesme geometrisinin ÜKG'ne etkisine bakıldığında en düşük ÜKG'nin düz kesimde ölçüldüğü ve bunu sırası ile V kesim ve yay kesim takip ettiği görülmüştür. Bunun nedeni V ve yay geometriye sahip kesme işlemlerinde lazer ışınının düz kesime göre kesme bölgesinden daha geç uzaklaşacaktır. Bu da kesme bölgesinin daha fazla ısınmasına ve ergimiş metalin miktarının yüksek basınçlı gazla kesme bölgesinden daha fazla malzeme uzaklaştırılacağından ÜKG artmasına neden olacağı düşünülmektedir.



Şekil 3. Lazer kesme işleminde kesme parametrelerinin ÜKG'ne etkisi (ON; ▲ : -0,5 mm, ● : 0 mm, ◆ : 0,5 mm)



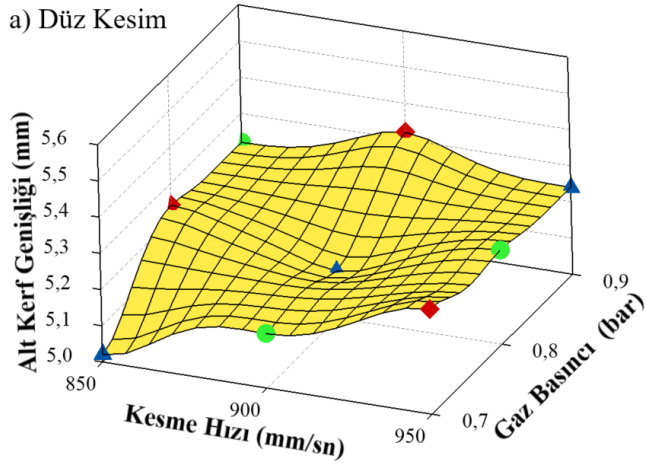
Şekil 4. Lazer kesme işleminde ÜKG için optimum kesme parametrelerine ait görüntüler.

Alt kerf genişliği

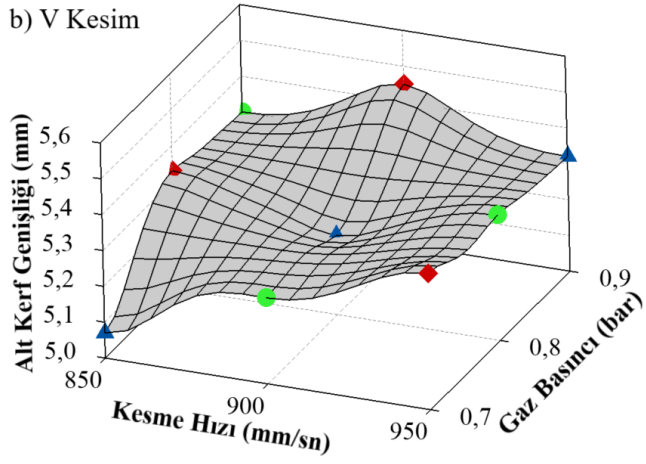
İş parçasının lazerle kesilmesinde elde edilen AKG'leri ölçülüp, AKG ile kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin ilişkileri incelenmiştir. İş parçasının farklı kesme parametrelerinde düz kesim yapılması ile AKG'deki değişim Şekil 5'de görülmektedir.

ON'nın -0,5 mm, KH'nın 850 mm/sn ve GB'nın 0,7 bar olduğu kesme koşullarında 5,02 mm ile düz kesim için en küçük AKG ulaşılmıştır. GB 0,9 bar ve KH'nın 950 mm/sn çıkarılmasıyla AKG %4,38 oranında artma olduğu görülmüştür. ON'nın 0 mm çekilmesiyle 0,7 bar GB'da ve 900 mm/sn KH'da AKG 5,15 mm olmuştur. KH'nın %5,6 oranında azaltılması ve GB'nın %28,6 oranında artırılmasıyla AKG 5,22 mm olmuştur. ON'nın 0,5 mm çıkarılmasıyla KH'nın 950 mm/sn ve GB'nın 0,7 bar olduğu deney kombinasyonunda AKG 5,29 mm ölçülmüştür. Aynı ON için 0,9 bar GB'da ve 900 mm/sn KH'da AKG 5,32 mm olmuştur.

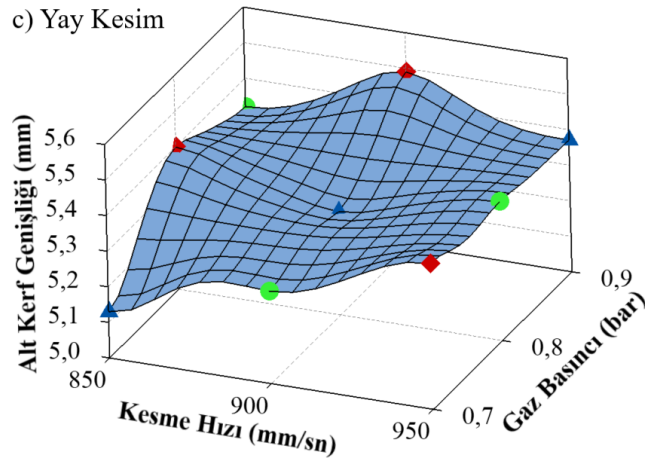
a) Düz Kesim



b) V Kesim



c) Yay Kesim



Şekil 5. Lazer kesme işleminde kesme parametrelerinin AKG'ne etkisi (ON; ▲ : -0,5 mm, ● : 0 mm, ◆ : 0,5 mm)

Şekil 5 b-c'de aynı kesme parametrelerinde V ve yay geometrileri için AKG'deki değişimler verilmiştir. V ve yay geometrileri için -0,5 mm ON, 850 mm/sn KH ve 0,7 bar GB'da sırası ile en küçük AKG'leri 5,07 mm ve 5,13 mm olmuştur. Şekil 6'da düz, V ve yay kesim için en iyi kesme parametrelerinde ulaşılan AKG'ne ait mikroskop görüntüleri sunulmuştur. Yapılan çalışmada AKG'nin ÜKG'ne göre daha düşük değerler ölçülmüştür. Bunun nedeninin lazer kesme işleminde iş

parçası kalınlığı boyunca ışın yoğunluğunun, GB'nın azalması ve odağın değişmesinin bir sonucu olduğu bildirilmiştir (Ay ve Yücelişli, 2018).



Şekil 6. Lazer kesme işleminde AKG için optimum kesme parametrelerine ait görüntüler.

Sonuçlar

Lazer kesme işleminde en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi kesim kalitesi için hayati önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada, 6 mm kalınlığında Hardox 500 çeliğinin lazer kesme işleminde kesme geometrisinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, üst ve alt kerf genişliği üzerine etkileri incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- ❖ Düz geometride yapılan kesme işlemlerinde odak noktasının malzeme yüzeyinin altında, maksimum gaz basıncında ve kesme hızında 2,096 μm ile en düşük yüzey pürüzlülüğüne ulaşılmıştır.
- ❖ Düz geometride yapılan kesme işlemlerinde odak noktasının malzeme yüzeyinin altında, minimum gaz basıncında ve kesme hızında 5,06 mm ile en düşük üst kerf genişliği elde edilmiştir.
- ❖ Alt kerf genişliği için en iyi sonuç 5,02 mm ile düz geometride yapılan kesme işlemi için odak noktasının -0,5 mm, gaz basıncının 0,7 bar ve kesme hızının 850 mm/sn olarak belirlenmiştir.
- ❖ Yapılan çalışmada kesme geometrisinden ve kesme parametrelerinden yüzey pürüzlülüğünün, üst ve alt kerf genişliklerinin etkilendiği tespit edilmiştir.

- ❖ Özellikle yapılan çalışmada V ve yay gibi kesme geometrilerinin kesilmesi sırasında lazerin kesme bölgesinden hızlı bir şekilde uzaklaşmaması yüzey pürüzlülüğünü, üst ve alt kerf genişliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür.

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

- Ay M., Yücelişli F. Ti-6Al-4V alaşımının fiber lazer ile kesilmesinde işlem parametrelerinin kesim kalitesine etkisinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 30(2): 215-223.
- Cebeci İ., Özlü B., Demir H. AISI 310 kalite östenitik paslanmaz sac malzemenin lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin kesim kalitesine etkisinin incelenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2020; 10(4): 2791-2799.
- Chen SL. The effects of high-pressure assistant-gas flow on high-power CO2 laser cutting. Journal of Materials Processing Technology 1999; 88(1-3): 57-66.
- Chen MF., Ho YS., Hsiao WT., Wu TH., Tseng SH., Huang KC. Optimized laser cutting on light guide plates using grey relational analysis. Optics and Lasers in Engineering 2011; 49(2): 222-228.
- Çırakoğlu F., Özlü B., Demir H. Hardox 450 çeliğinin lazerle delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2021; 8(2): 913-923.
- Duan J., Man HC., Yue TM. Modelling the laser fusion cutting process: III. Effects of various process parameters on cut kerf quality. Journal of Physics D: Applied Physics 2001; 34: 2143-2150.
- Dubey AK., Yadava V. Laser beam machining-A review. International Journal of Machine Tools and Manufacture 2008; 48(6): 609-628.
- Ghany KA., Newishy M. Cutting of 1.2 mm thick austenitic stainless steel sheet using pulsed and CW Nd:YAG laser. Journal of Materials Processing Technology 2005; 168(3): 438-447.
- Işık R., Özlü B., Demir H. St-37 Malzemesinin lazer ile kesme işleminde seçilen parametrelerin etkisinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 33(1): 161-171.
- Jarosz K., Löschner P., Niesłony P. Effect of cutting speed on surface quality and heat-affected zone in laser cutting of 316L stainless steel. Procedia Engineering 2016; 149: 155-162.

- Joshi P., Sharma A. Simultaneous optimization of kerf taper and heat affected zone in Nd-YAG laser cutting of Al 6061-T6 sheet using hybrid approach of grey relational analysis and fuzzy logic. *Precision Engineering* 2018; 54: 302-313.
- Karatas C., Keles O., Uslan I., Usta Y. Laser cutting of steel sheets: Influence of workpiece thickness and beam waist position on kerf size and stria formation. *Journal of Materials Processing Technology* 2006; 172(1): 22-29.
- Lamikiz A., De Lacalle LL., Sanchez JA., Del Pozo D., Etayo JM., Lopez JM. CO₂ laser cutting of advanced high strength steels (AHSS). *Applied Surface Science* 2005; 242(3-4): 362-368.
- Madić M., Radovanović M. Application of RCGA-ANN approach for modeling kerf width and surface roughness in CO₂ laser cutting of mild steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 2013; 35: 103-110.
- Moradi M., Mehrabi O., Azdast T., Benyounis KY. Enhancement of low power CO₂ laser cutting process for injection molded polycarbonate. *Optics ve Laser Technology* 2017; 96: 208-218.
- Nyon K., Nyeoh CY., Mokhtar M., Rahman RA. Finite element analysis of laser inert gas cutting on Inconel 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2012; 60: 995-1007.
- Özlü B. Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy. *Surface Review and Letters* 2021; 28(10): 1-18.
- Stournaras A., Stavropoulos P., Salonitis K., Chryssolouris G. An investigation of quality in CO₂ laser cutting of aluminum. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2009; 2(1): 61-69.
- Tamrin KF., Nukman Y., Choudhury IY., Shirley S. Multiple-objective optimization in precision laser cutting of different thermoplastics. *Optics and Lasers in Engineering* 2015; 67: 57-65.
- Wei J., Ye Y., Sun Z., Liu L., Zou G., Control of the kerf size and microstructure in inconel 738 superalloy by femtosecond laser beam cutting. *Applied Surface Science* 2016; 370: 364-372.

Pseudomonas aeruginosa ve Pyoverdinler: Apiterapi Uygulamalarında Gizli Bir Tehdit

Sinan BAYRAM^{1*}

¹Bayburt University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques, 69000, Bayburt

¹<https://orcid.org/0000-0002-2156-1566>

*Corresponding author : sbayram@bayburt.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.12.2021

Kabul tarihi:01.02.2022

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Pseudomonas aeruginosa

Pyoverdinler

Bal

Anti-*Pseudomonas* aktivite

Minimum inhibisyon

konsantrasyonu

Minimum bakterisidal

konsantrasyonu

ÖZ

Gram negatif çubuk şeklinde bir bakteri olan *Pseudomonas aeruginosa*, hastane enfeksiyonlarında en sık görülen patojenlerden biridir ve bu patojenik tür, septisemili hastalarda yüksek prevalansı ile dikkat çekmektedir. Pyoverdinler, *P. aeruginosa* ve *Pseudomonas fluorescens* gibi bazı *Pseudomonas* türleri tarafından üretilen floresan sideroforlardır. Bu sideroforlar, bu mikroorganizmalarda biyofilm üretimini destekler ve aynı zamanda bir virülans faktörü olarak rol oynar. Bu çalışmada 10 farklı bal örneğinin anti-*Pseudomonas* aktivitesi agar kuyusu difüzyon (AWD) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca bu bal örneklerinin minimum inhibisyon konsantrasyonu (MIC) ve minimum bakterisidal konsantrasyonu (MBC) değerleri mikrobroth seyreltme yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar sadece meşe balı ve kestane balının ihmal edilebilir ölçekte düşük anti-*Pseudomonas* aktivitesine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca diğer bal örneklerinin bu patojenlere karşı inhibitör etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Son olarak, bu bal örneklerinin pyoverdin siderofor üretimini teşvik edici özelliği değerlendirilmiş ve tüm bal örneklerinin 1/2 w/v konsantrasyonda pyoverdin üretimini uyardığı sonucuna varılmıştır.

Pseudomonas aeruginosa and Pyoverdines: A Hidden Threat in Apitherapy Applications

Research Article

Article History:

Received: 30.12.2021

Accepted: 01.02.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Pseudomonas aeruginosa

Pyoverdines

Honey

Anti-*Pseudomonas* activity

Minimum inhibition concentration

Minimum bactericidal

concentration

ABSTRACT

Pseudomonas aeruginosa, a Gram-negative rod-shaped bacterium, is one of the most common pathogens in nosocomial infections and this pathogenic species draws attention with its high prevalence rate in patients with septicemia. Pyoverdines are fluorescent siderophores produced by some *Pseudomonas* species such as *P. aeruginosa* and *Pseudomonas fluorescens*. These siderophores support biofilm production in these microorganisms and also play a role as a virulence factor. In this study, the anti-*Pseudomonas* activity of 10 different honey samples was evaluated by the agar well diffusion (AWD) method. In addition, minimum inhibition concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) values of these honey samples were determined via the microbroth dilution method. The obtained results showed that only oak honey and chestnut honey have negligible scale low anti-*Pseudomonas* activity. In addition, it was observed that other honey samples did not have an inhibitory effect against these pathogens. Finally, the promoting property of pyoverdine siderophore production of these honey samples was evaluated and it was concluded that all honey samples stimulated pyoverdin production at a concentration 1/2 w/v.

To Cite: Bayram S. *Pseudomonas aeruginosa* and Pyoverdines: A Hidden Threat in Apitherapy Applications. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1): 315-324.

Introduction

Pseudomonas is a bacterial genera consist of non-fermentative Gram-negative rod-shape bacteria. This genus distributes in many different regions from the tropics to the Antarctic. This ubiquitous genus was firstly described in 1894 by Walter Migula and so far, 272 different species of these microorganisms have been isolated from many different environments such as soil, water, air, sediments and clinical isolates. These opportunistic pathogens, which can cause serious infections in humans, have also been isolated from many different hosts such as animals, plants, fungi and algae (Silby et al., 2011; Peix et al., 2018).

P. aeruginosa is a Gram-negative rod-shaped bacterium, belonging to the Pseudomonadaceae family of the Gammaproteobacteria class (Casabona et al., 2013; Nikolaidis et al., 2020). Today, *P. aeruginosa* is known to be one of the most common pathogens in nosocomial infections and this opportunistic pathogen attracts attention with its high prevalence rate in patients with septicemia (Zavascki et al., 2006; Castañeda-Montes et al., 2018; Esparcia et al., 2019). In particular, Metallo-Beta-Lactamase (MBL) producing *P. aeruginosa* strains and multidrug-resistant *P. aeruginosa* (MDRPA) strains are the leading causes of nosocomial infections with high mortality rates. In recent years, many published articles have emphasized the increasing resistance of these microorganisms to antibiotics such as carbapenem and cephalosporin (Matos et al., 2018).

Siderophores are low molecular weight chelators produced by different living groups such as bacteria, fungi and even sometimes plants to scavenge iron. These secondary metabolites bind the low concentration of free iron in the environment and play a role in its transport into the cell via membrane receptor molecules for many different cellular processes (Albelda-Berenguer et al., 2019; Pecoraro et al., 2021). Pyoverdines are fluorescent siderophores produced by some *Pseudomonas* species such as *P. aeruginosa* and *P. fluorescens*. These siderophores support biofilm production in these microorganisms and also play a role as a virulence factor. These fluorescent siderophores contribute to the growth of microorganisms by binding this element in cases where the iron element is very limited (Ringel and Brüser, 2018). Until now, more than a hundred different types of pyoverdines have been isolated from different *Pseudomonas* strains and it has been observed that all of them have some structurally common features. All these siderophores have a dihydroxyquinoline molecule in their core. In all pyoverdine producer *Pseudomonas* species, the structure of this dihydroxyquinoline core molecules consists of (1S)-5-amino-2,3-dihydro-8,9-dihydroxy-1H-pyrimido [1,2-a] quinoline-1-carboxylic acid. This fluorescent dihydroxyquinoline core part gives pyoverdins their yellowish or greenish color and this part of the pyoverdine molecules is invariant for all *Pseudomonas* species. As the second part, there is a peptide chain integrated with this dihydroxyquinoline core and this chain consists of 6-14 amino acids. The number of amino acids in this peptide chain varies depending on the groups of microorganisms. The most important distinction of these strain specific amino acid chains is that they are not synthesized in ribosomes. This non-ribosomal amino acid chain is synthesized on the dihydroxyquinoline chromophore core. The third and last part of this dihydroxyquinoline core is 4-5

carbon α -ketoacid, and this organic acid is produced in the Krebs cycle or citric acid cycle (Moll et al., 2008; Cézard et al., 2019).

Honey is a sweet substance used widely by humankind as a functional food since ancient times. Mankind has been using honey not only as a food but also as a therapeutic agent for healing wounds and treating infectious disease for many years (Hadagali et al., 2014; Oryan et al., 2016; Anand et al., 2019; Ronsisvalle et al., 2019). The dehydrated structure of honey, its acidity feature and the components it contains such as hydrogen peroxide, phenolic acids and flavonoids prevent the development of microorganisms, and in addition to this feature, the nutritional content of honey accelerates the healing of wounds (Dryden et al., 2014; da Silva et al., 2016; Oryan et al., 2016; Karlıdağ et al., 2021).

In this study, the anti-*Pseudomonas* activity of 10 different honey samples was investigated against two different *P. aeruginosa* strains. *P. aeruginosa* strains were obtained from Bayburt State Hospital, Medical Microbiology Laboratory. In addition, the ability of honey samples to induce pyoverdine production in *Pseudomonas* strains was evaluated. The obtained results revealed that eight honey samples did not have an inhibitory effect against target pathogens, only oak and chestnut honey samples had inhibition effects at a negligible scale. In addition to these results, it was observed that all honey samples stimulated pyoverdine siderophore production in target pathogens.

Materials and Methods

Preparation of Honey Samples for Anti-*Pseudomonas* Activity Assays

Honey samples were purchased from beekeepers from different cities. The list of honey samples is given in Table 1. Initially, the honey samples were kept in a water bath at 40°C for 30 minutes to become more fluid. After this process, honey samples weighing 1 gram using a sterile wooden stick were transferred to sterile 2 mL Eppendorf tubes. Immediately afterward, the total volume was adjusted to 2 mL using sterile distilled water. These prepared honey solutions (at a concentration ½ w/v) were used to determine the anti-*Pseudomonas* activities (Vică et al., 2021).

Microorganisms and Growth Conditions

In this study, target *P. aeruginosa* strains were kindly obtained from Bayburt State Hospital, Medical Microbiology laboratory. Two different *Pseudomonas* strains were used to determine *in-vitro* anti-*Pseudomonas* activities of ten different honey samples. First of all, these pathogenic *Pseudomonas* strains were incubated in a liquid medium (Mueller Hinton Broth = MHB) at 37°C for 24 hours. After this incubation period, these suspensions were adjusted to 0.5 McFarland standard turbidity of (10^6 CFU/mL) and used as inoculum (Bayram et al., 2019).

Agar Well Diffusion Method (AWD)

To determine the *in-vitro* anti-*Pseudomonas* effect of different honey samples, AWD assay was used. Initially, Mueller-Hinton Agar (MHA) medium was autoclaved at 121 °C for 15 minutes and cooled to 50 °C at room temperature. 25 mL MHA medium was transferred to each sterile petri dishes. After these petri dishes were cooled at room temperature, 8 mm diameter wells were cut into the solidified media using a sterile cork borer. And then, all these prepared MHA media were inoculated using a sterile cotton swab. After these inoculation procedures, 70 µL of the diluted honey samples (at a concentration ½ w/v) were transferred to these wells with the help of a micropipette and incubated at 36 °C for 24 hours. At the end of this incubation period, inhibition zones formed by honey samples around agar wells were measured with the help of a vernier caliper and recorded (Sherlock et al. 2010; Osés et al. 2016; Bayram et al., 2020). Each assay was carried out in duplicate.

Determination of Minimum Inhibitory Concentration (MIC)

For the purpose of determine minimum inhibition concentration (MIC) values of different honey samples against target *Pseudomonas* strains broth microdilution method was used. In this assay period, 96-well polystyrene microtiter plates were used. Initially, 96 µL of sterile MHB medium was added to all wells using a multichannel pipette. And then 4 µL of *Pseudomonas* inoculums were added to all wells. After that, 100 µL of prepared honey samples (at a concentration ½ w/v) were added to all the first wells of the microtiter plates and mixed thoroughly with the help of a multichannel pipette. After these procedures, 100 µL of the prepared sample was taken from the first wells of the 96 well plates and mixed into the second wells. This half-dilution procedure was repeated sequentially up to the 8th well. In this way, the concentration of honey samples in the wells was serially diluted. And then, these microtiter plates were measured at 600-nanometer wavelength using a microplate reader (Thermo, Multiskan Go). After these spectrophotometric measurements were recorded, the microplates were incubated at 36°C for 24 hours. At the end of this 24 hours incubation period, the microplates were measured at 600-nanometer wavelength, and obtained results were again recorded. At the end of all these measurements, the lowest concentration inhibiting *Pseudomonas* strains was accepted as MIC (Sherlock et al. 2010; Huttunen et al., 2013).

Determination of Minimum Bactericidal Concentration (MBC)

Minimum bactericidal concentration (MBC) assays were performed with small modifications as previously described by Ecem-Bayram et al. (2021). For this purpose, at the end of the MIC assays, 7 microliter samples were taken from each well of the microplate using a micropipette and transferred to the MHA media in sequence. After that, these media were incubated at 36°C for 24 hours. At the end of this 24-hour incubation period, the lowest concentration that did not form *Pseudomonas* colonies was recorded as MBC (Sherlock et al. 2010; Ecem-Bayram et al., 2021).

Table 1. Anti-*Pseudomonas* activity of different honey samples. [Inhibition zone diameter: IZD = mm; MIC= minimum inhibition concentration: w/v; MBC: minimum bactericidal concentration: w/v; PP: Pyoverdine production]

Honey Samples	Province	<i>P. aeruginosa</i> EPSB1				<i>P. aeruginosa</i> EPSB2			
		IZD	MIC	MBC	PP	IZD	MIC	MBC	PP
Acacia honey	Manisa	-	-	-	+	-	-	-	+
Cedar honey	Muğla	-	-	-	+	-	-	-	+
Chestnut honey	Zonguldak	12	½	-	+	11	½	-	+
Clover honey	Muğla	-	-	-	+	-	-	-	+
Heather	Muğla	-	-	-	+	-	-	-	+
Linden	Bursa	-	-	-	+	-	-	-	+
Oak honey	Edirne	11	½	-	+	11	½	-	+
Thyme honey	Amasya	-	-	-	+	-	-	-	+
Wildflower honey 1	Bayburt	-	-	-	+	-	-	-	+
Wildflower honey 2	Erzincan	-	-	-	+	-	-	-	+

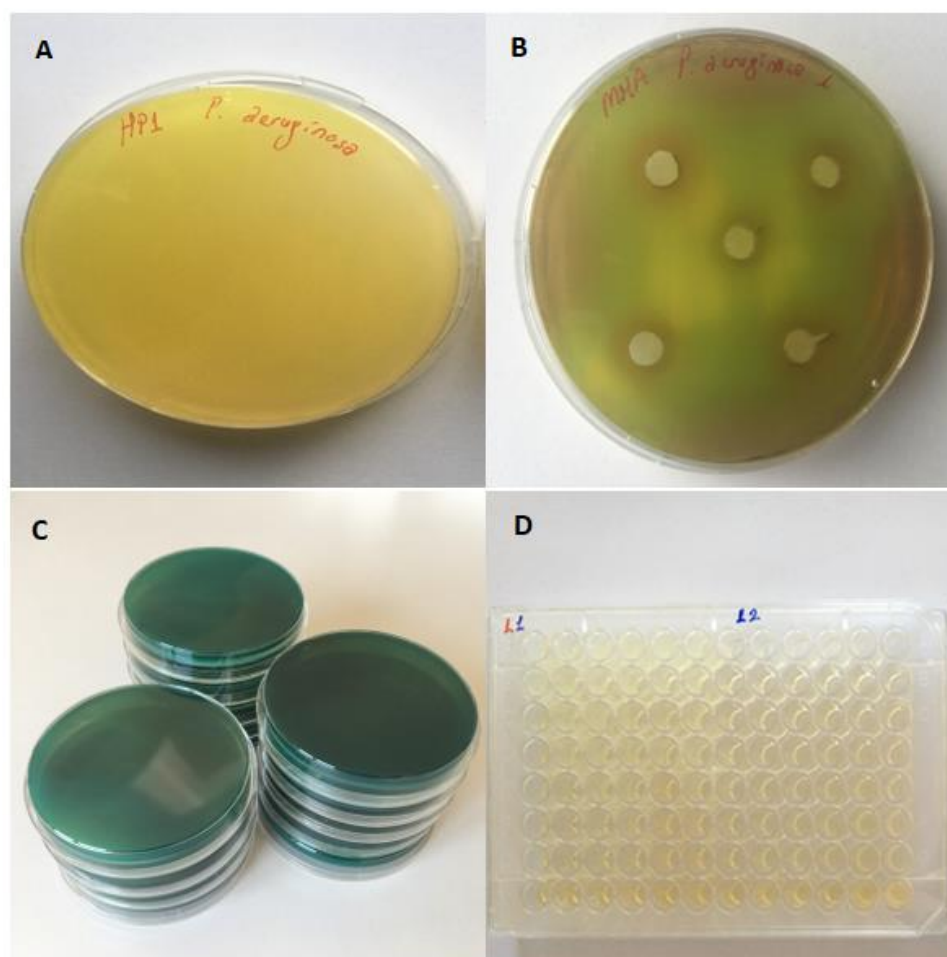


Figure 1. Determination of the anti-*Pseudomonas* effect of different honey samples. (A: *Pseudomonas* strain that does not produce pyoverdinin on MHA. B: Agar well diffusion method. Stimulation of

pyoverdine production by honey sample. C: Increasing pyoverdine production after spreading one mL of honey suspension over the entire petri dish. D: Determination of MIC and MBC values

Results and Discussions

In this study, the inhibitory effect of ten different honey samples taken from different provinces of Turkey was investigated against two different pathogen *P. aeruginosa* strains (EPSB1 and EPSB2 strains) (Table 1). The antibacterial activity of these samples was evaluated by the agar well diffusion (AWD) method. Minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) values were determined by the micro broth dilution method (Fig. 1). Obtained *in-vitro* anti-*Pseudomonas* activity results showed that eight of the honey samples had no inhibitory effect against target pathogens. It was observed that only oak and chestnut honey samples had negligible scale weak inhibition effects at ½ w/v concentration. In addition, it was observed when 70 µL volume and ½ w/v concentration chestnut honey transferred to wells in MHA medium (8 mm diameter) formed an inhibition zone of 12 mm against *P. aeruginosa* EPSB1 and 11 mm against *P. aeruginosa* EPSB2. Moreover, it was observed that oak honey formed an inhibition zone of 11 mm against both pathogens at the same concentration. When evaluated in terms of MIC and MBC activities, it was seen that the same honey samples had a bacteriostatic effect at a concentration of ½ w/v against target pathogens, but did not show a bactericidal effect. None of the honey samples except chestnut and oak honey showed an inhibition effect against target pathogens. It is observed that all of these honey samples are ineffective in MIC and MBC applications.

After these procedures, both target pathogens were seeded in ten different petri dishes with the help of a sterile swab, and 1 mL of honey solution was added to all petri dishes immediately after this process (½ w/v concentration). After that, honey solutions were spread to cover the entire surface of the petri dish with the help of a sterile swab. After these processes, inoculated petri dishes were incubated at 37°C for 24 hours and it was observed that pyoverdine production reached the maximum level in these media (Fig 1C). This situation indicates the possibility that if honey is used as an antibacterial agent in *Pseudomonas* infections, it may stimulate the production of pyoverdine and increase the severity of the infection.

When we evaluate the previously published studies in the literature, it can be said that our obtained results are compatible with the literature. In a study performed by Leyva-Jimenez et al. (2019), the phenolic components of 33 different Iranian honey were purified by solid-phase extraction method and their antibacterial activity was investigated. In their study, two Gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus* and *Enterococcus faecalis*) and two Gram-negative bacteria (*Escherichia coli* and *P. aeruginosa*) were used. In the results obtained in this study, it was seen that the most resistant bacteria against phenolic compounds purified from honey was *P. aeruginosa* (Leyva-Jimenez et al., 2019).

Additionally, in a study conducted by Oluwapelumi et al. (2017), the antibacterial activity of six different honey samples was investigated. In this study, researchers determined the inhibition effects

of honey samples against *Staphylococcus aureus*, *P. aeruginosa* and *Klebsiella pneumoniae* bacteria using the AWD method. In the obtained results, it was observed that *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* strains were sensitive to all honey samples. On the other hand, *P. aeruginosa* strain was resistant to all samples but sensitive to only one sample (Oluwapelumi et al., 2017).

In another study performed by Olatunji et al. (2018), researchers investigated the antimicrobial activities of five different honey samples. The researchers in this study used the agar well diffusion method. During the study, one *Candida albicans* strain and six different bacterial strains (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *P. aeruginosa*, *Salmonella paratyphi* and *Klebsiella pneumoniae*) were used as the target pathogen. In the obtained results in the study, it was seen that *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella paratyphi* and *Candida albicans* strains were sensitive to all honey samples. In addition, it was stated that *Klebsiella pneumoniae* strain was resistant to 2 different honey samples, and finally, it was emphasized that *P. aeruginosa* strain was resistant to 4 different honey samples and was sensitive to only one honey sample. In this study, it was seen that *P. aeruginosa* strain was the most resistant microorganism against honey samples among pathogenic samples (Olatunji et al., 2018).

In conclusion, the therapeutic properties of honey in apitherapy applications have been known for thousands of years. However in this study, based on these obtained results, in *Pseudomonas* infections, during the treatment with honey, if the necessary care is not taken and the wound area is moistened; it seems likely that pyoverdine production will be promoted and the severity of the infection will increase.

As a result, mankind has been benefiting from the therapeutic properties of honey in healing wounds since ancient Egyptian times. This traditional method both contributes to faster healing of wounds and prevents the risk of infection thanks to the antimicrobial properties of honey samples. However obtained results in this study, showed that only chestnut and oak honey samples had an inhibitory effect against target *Pseudomonas* strains at the highest concentration ($\frac{1}{2}$ w/v), whereas other honey samples did not have an inhibitory effect against these pathogenic bacteria. In addition to these results, it was revealed that all honey samples stimulated pyoverdine production in *P. aeruginosa* EPSB1 and *P. aeruginosa* EPSB2 strains. The obtained results revealed that honey samples may induce pyoverdine production and in this way may increase virulence and pathogenicity in *Pseudomonas* infections.

Statement of Conflict of Interest

The author has declared no conflict of interest.

Author's Contribution

The contribution of the author is 100%.

References

- Albelda-Berenguer M., Monachon M., Joseph E. Siderophores: From natural roles to potential applications. *Advances in Applied Microbiology* 2019; 106: 193-225.
- Anand S., Deighton M., Livanos G., Morrison PD., Pang EC., Mantri N. Antimicrobial activity of Agastache honey and characterization of its bioactive compounds in comparison with important commercial honeys. *Frontiers in Microbiology* 2019; 10: 263.
- Bayram N., Yüzer MO., Bayram S. Melissopalynology analysis, physicochemical properties, multi-element content and antimicrobial activity of honey samples collected from Bayburt, Turkey. *Uludağ Arıcılık Dergisi* 2019; 19(2): 161-176.
- Bayram NE., Canli D., Gerçek YC., Bayram S., Celik S., Güzel F., Oz, GC. Macronutrient and micronutrient levels and phenolic compound characteristics of monofloral honey samples. *Journal of Food & Nutrition Research* 2020; 59(4): 1-12.
- Casabona MG., Vandenbrouck Y., Attree I., Couté Y. Proteomic characterization of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 inner membrane. *Proteomics* 2013; 13(16): 2419-2423.
- Castañeda-Montes FJ., Avitia M., Sepúlveda-Robles O., Cruz-Sánchez V., Kameyama L., Guarneros G., Escalante AE. Population structure of *Pseudomonas aeruginosa* through a MLST approach and antibiotic resistance profiling of a Mexican clinical collection. *Infection, Genetics and Evolution* 2018; 65: 43-54.
- Cézard C., Sonnet P., Bouvier B. Ironing out pyoverdine's chromophore structure: serendipity or design?. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry* 2019; 24(5): 659-673.
- da Silva PM., Gauche C., Gonzaga LV., Costa ACO., Fett R. Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry* 2016; 196: 309-323.
- Dryden M., Lockyer G., Saeed K., Cooke J. Engineered honey: in vitro antimicrobial activity of a novel topical wound care treatment. *Journal of Global Antimicrobial Resistance* 2014; 2(3): 168-172.
- Ecem-Bayram N., Çebi N., Çelik S., Gerçek YC., Bayram S., Tanuğur-Samancı AE., Özkök A. Turkish royal jelly: amino acid, physicochemical, antioxidant, multi-elemental, antibacterial and fingerprint profiles by analytical techniques combined with chemometrics. *Journal of Apicultural Research* 2021; 60(5): 751-764.
- Esparcia A., Madrazo M., Alberola J., López-Cruz I., Eiros JM., Nogueira JM., Artero A. Community-onset *Pseudomonas aeruginosa* urinary sepsis in elderly people: Predictive factors, adequacy of empirical therapy and outcomes. *International Journal of Clinical Practice* 2019; 73(12): e13425.
- Hadagali MD., Chua LS. The anti-inflammatory and wound healing properties of honey. *European Food Research and Technology* 2014; 239(6): 1003-1014.
- Huttunen S., Riihinen K., Kauhanen J., Tikkanen-Kaukanen C. Antimicrobial activity of different Finnish monofloral honeys against human pathogenic bacteria. *Apmis* 2013; 121(9): 827-834.

- Karlıdağ S., Keskin M., Bayram S., Mayda N., Özkök A. Honey: Determination of volatile compounds, antioxidant and antibacterial activities. *Czech Journal of Food Sciences* 2021; 39(3): 208–216.
- Leyva-Jimenez FJ., Lozano-Sanchez J., Borrás-Linares I., de la Luz Cadiz-Gurrea M., Mahmoodi-Khaledi E. Potential antimicrobial activity of honey phenolic compounds against Gram positive and Gram negative bacteria. *LWT* 2019; 101: 236-245.
- Matos ECOD., Andriolo RB., Rodrigues YC., Lima PDL., Carneiro ICDRS., Lima KVB. Mortality in patients with multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* infections: a meta-analysis. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 2018; 51: 415-420.
- Moll H., Johnsson A., Schäfer M., Pedersen K., Budzikiewicz H., Bernhard G. Curium (III) complexation with pyoverdins secreted by a groundwater strain of *Pseudomonas fluorescens*. *Biometals* 2008; 21(2): 219-228.
- Nikolaidis M., Mossialos D., Oliver SG., Amoutzias GD. Comparative analysis of the core proteomes among the *Pseudomonas* major evolutionary groups reveals species-specific adaptations for *Pseudomonas aeruginosa* and *Pseudomonas chlororaphis*. *Diversity* 2020; 12(8): 289.
- Olatunji KT., Aboh M., Oladosu P. In-vitro antimicrobial effect of different honey samples against selected micro-organisms marketed in Abuja Nigeria. *Journal of Applied Life Sciences International* 2018; 1-7.
- Oluwapelumi OB., Morayo A., Buru AS., Richard AY., Funmilayo AJ., Funmi AA. Antimicrobial activities of different honeys sold in ado-ekiti on bacteria associated with upper respiratory tract infections. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 2017; 6(2): 1-10.
- Oryan A., Alemzadeh E., Moshiri A. Biological properties and therapeutic activities of honey in wound healing: A narrative review and meta-analysis. *Journal of Tissue Viability* 2016; 25(2): 98-118.
- Osés SM., Pascual-Maté A., de la Fuente D., de Pablo A., Fernández-Muiño MA., Sancho MT. Comparison of methods to determine antibacterial activity of honeys against *Staphylococcus aureus*. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 2016; 78: 29-33.
- Pecoraro L., Wang X., Shah D., Song X., Kumar V., Shakoor A., Rani R. Biosynthesis pathways, transport mechanisms and biotechnological applications of fungal siderophores. *Journal of Fungi* 2022; 8(1): 21.
- Peix A., Ramírez-Bahena MH., Velázquez E. The current status on the taxonomy of *Pseudomonas* revisited: an update. *Infection, Genetics and Evolution* 2018; 57: 106-116.
- Ringel MT., Brüser T. The biosynthesis of pyoverdines. *Microbial Cell* 2018; 5(10): 424.
- Ronsisvalle S., Lissandrello E., Fuochi V., Petronio-Petronio G., Straquadanio C., Crascì L., Furneri PM. Antioxidant and antimicrobial properties of *Casteanea sativa* Miller chestnut honey produced on Mount Etna (Sicily). *Natural Product Research* 2019; 33(6): 843-850.

- Sherlock O., Dolan A., Athman R., Power A., Gethin G., Cowman S., Humphreys H. Comparison of the antimicrobial activity of Ulmo honey from Chile and Manuka honey against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 2010; 10(1): 1-5.
- Silby MW., Winstanley C., Godfrey SA., Levy SB., Jackson RW. *Pseudomonas* genomes: diverse and adaptable. *FEMS Microbiology Reviews* 2011; 35(4): 652-680.
- Vică ML., Glevitzky M., Tit DM., Behl T., Heghedűş-Mîndru RC., Zaha DC., Bungău S. The antimicrobial activity of honey and propolis extracts from the central region of Romania. *Food Bioscience* 2021; 41: 101014.
- Zavascki AP., Barth AL., Gonçalves ALS., Moro ALD., Fernandes JF., Martins AF., Goldani LZ. The influence of metallo- β -lactamase production on mortality in nosocomial *Pseudomonas aeruginosa* infections. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 2006; 58(2): 387-392.

Algorithmic Workspace Programming of the Collaborative Multi-Robots

Haydar ŞAHİN^{1*}

¹İstanbul Gedik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0001-8435-9448>

*Corresponding author: haydar.sahin@gedik.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 30.11.2021

Accepted: 05.02.2022

Published online:08.03.2022

Keywords:

Workspace

Collaborative robots

Modular mechanism

Multi-robots

ABSTRACT

In the present study, the Controllable Instantaneous Screw Axes (C-ISA) 1 and C-ISA 2 shape variable angles are modified independently to realize various rule-based work spaces and trajectories for multi collaborative robot control. The toolbox developed previously is used to obtain the algorithm of the workspaces for 2-RR collaborative multi-robots herein. Six collaborative multi-robots are exploited to design the intersecting workspaces with generated trajectories. The classifications of the workspaces are unveiling the boundaries of the collaborations for the six multi-robots of the 2-RR (Revolute Revolute). The recent developments are showing that the multi-robots are embedding into the automation systems to achieve the novel requirements of the challenging technology. Therefore, the workspace algorithms developed herein are prepared to be utilized by these automation systems.

İşbirlikçi Çoklu Robotların Algoritmik Çalışma Alanı Programlaması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.11.2021

Kabul tarihi: 05.02.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar kelimeler:

Çalışma alanı

İşbirlikçi robotlar

Modüler mekanizma

Çoklu robotlar

ÖZ

Bu çalışmada, Kontrol Edilebilir Anlık Vida Eksenleri (C-ISA) 1 ve C-ISA 2 şekil değişken açıları, çoklu işbirlikçi robot kontrolü için çeşitli kural tabanlı çalışma alanları ve yörüngeleri gerçekleştirmek için bağımsız olarak değiştirilir. Daha önce geliştirilen araç kutusu, buradaki 2-RR işbirlikçi çoklu robotlar için çalışma alanlarının algoritmasını elde etmek için kullanılmaktadır. Oluşturulan yörüngelerle kesişen çalışma alanlarını tasarlamak için altı işbirlikçi çoklu robottan yararlanılır. Çalışma alanlarının sınıflandırmaları, 2-RR'nin (Revolute Revolute) altı çoklu robotu için işbirliklerinin sınırlarını ortaya koyuyor. Son gelişmeler, zorlu teknolojinin yeni gereksinimlerini karşılamak için çoklu robotların otomasyon sistemlerine yerleştirildiğini gösteriyor. Bu nedenle burada geliştirilen çalışma alanı algoritmaları bu otomasyon sistemlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

To Cite: Şahin H.. Algorithmic Workspace Programming of the Collaborative Multi-Robots. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):325-341.

Introduction

Programmable workspaces are required for collaborative robots. These algorithms are for industrial production, automated factories, industrialization (Clark and Rojas, 2020), automation (Queralta et al., 2020), construction (Rajesh and Anandu, 2020), search and rescue robots (Krizmancic et al., 2020). Multi-purpose robots with varied stiffness capabilities are requested for task space abilities (Clark and Rojas, 2020). The production line includes many robots operating synchronously (concurrently) to assemble, pick and place the parts of the products. The programmability for multi-purpose products is

required for industrialization (Clark and Rojas, 2020). Serial robots with the advantage of the synchronization of the multi-robots are widespread in the production lines.

The created workspaces are classified to be used in the modular collaborative robot design (Sahin, 2021). The collaborative robot of skew revolute joints has high reachability for defined task spaces (Elbanhawi and Simic, 2020; Feng et al., 2020; Olesen et al., 2020; Su et al., 2020). Additionally, the soft robotic link integrates to increase the reachability of the collaborative robots (Clark and Rojas, 2020). However, rigid adjustable or controllable joints can be an invaluable design option for collaborative robots. The programmability is provided with the changeable variables of the α_{1-4} mechanism for the collaborative robots.

The goal herein is to include the least number of revolute joints for a compact design to obtain the required precise workspaces or trajectories for the collaborative multi-robots. The higher quantity of the joints causes a higher risk of accidents for the multi-collaborative robots. Upon exploiting the skew revolute joints, the 2-RR multi-collaborative robots contain highly maneuverable joints. Additionally, having designed the modular multi-collaborative robots with 2-RR spatial mechanisms, the combination of the modular workspaces leads to generating the modular spatial chain.

Therefore, the 2-RR macro modular collaborative multi-robots are chosen as fundamental serial mechanisms which contain the minimum number of joints for a spatial robotic. Thus, the skew revolute joints can reach versatile workspaces compared to the non-skew revolute joints with the least quantity of the joints. However, the adjustability of the joint for skewness is required to arrange the varied skew angles of the revolute joint. The rule-based workspace design covered in this study is related to the relative rule definitions between the C-ISA angles of the shape variables of the α_{1-4} and $\theta_{1,2}$ for the C-manifold skew revolute mechanism of the collaborative robots. The parametric rules define the relation between the angles of the shape variables for the collaboration of the robot mechanisms.

The algorithms specialize in manipulating the multi-robots for path following, path planning, and sensory data gathering (Rajesh and Anandu, 2020). The trajectories define the distance measurement techniques on the paths (Su et al., 2020). Collaborative robot interaction with grippers is the main subject covered as decision-making for automation systems in the article (Su et al., 2020).

The automation system of the Industry 4.0 shall contain the repository of the obstacle space (Olesen et al., 2020), Configuration space (C-space) (Olesen et al., 2020), and the multi-robot configuration spaces as described in this article. Having constructed the conceptual animation-based workspaces, they are aiding to visualize the robot motion planning. Additionally, they are confining the algorithmic programming process of the multi-robots for collaborative robots. Collaborative multi-robots are specified to work coordinately with fixed mechanisms and mobile robots (Elbanhawi and Simic, 2014). The research in this field states the importance of the coordinated functioning of the multi collaborative robots (Feng et al., 2020). Thus, the workspace of the multi-collaborative robots is

emerging to determine the overlapping and non-overlapping regions for alternative algorithms covered in this research article.

The learning algorithms are developed for cleaning and maintenance robots (Yang et al., 2020). The algorithms of the path planning are specified based on the design requirements via functions (Lakshmanan et al., 2020). The soft robot gripper composes the design of the power grasp (Dilibal et al., 2021). Upon determining the speed and separation monitorings for the safe speeds, the workspaces of the collaborative robots investigate with conditional results in the ISO/TS15066 standard (Byner et al., 2019; Le et al., 2020; Wang and Meng, 2020). Collision avoidance (Marvel and Norcross, 2017), trajectory generation (ISO/TS15066:2016, 2016), and deep-learning (Moe et al., 2020) apply for the inverse and forward kinematics of the robots. Kinematic (Henderson and Prazenica, 2021) and inverse kinematics (Wang et al., 2021) formulas are methods of developing the programming of multi-collaborative robots. The robot-based programmable (Thalamy et al., 2019; Martínez and Campa, 2021; Xiao et al., 2021) systems determine the reconfiguration methods. The purpose of this study is generation of the collaborative multi-robot workspaces systematically using the developed mathematical algorithms of the Lie algebra.

Methodology

Recently, the SMILAT (Symbolic Mathematics with Integrated Lie Algebra Toolbox) was developed as a Lie Algebraic Formulation of the Kinematics and Dynamics for Robots as a Toolbox (LAFKID-ROT) as described in the reference of (Sahin, 2021) . This toolbox is used to develop the algorithm of the workspaces for 2-RR collaborative multi-robots herein. The surface plot is utilized for workspace determination via LAFKID-ROT. The intersection of the planned path trajectory is observed with the created workspaces of the animations. The modular design approach is utilized for the LAFKID-ROT.

The Modular C-Manifold Design of Workspaces with the C-ISA Angles for 2-RR Spatial Mechanisms

The workspace analyses of configuration-dependent multiple synchronous C-ISA are obtained for group angular parameters of the 2-RR modular robots avoiding the collision using nonoverlapping workspaces in the result section. The α_{1-4} can be arranged for the designed group of the 2-RR robots so that reconfiguration workspaces define the required multiple workspaces. The workspaces are definable via Maxima, Octave, and Matlab. The workspaces with overlapping or without overlapping are created applying rule-based mathematical ratios among the α_{1-4} angles. The $5\pi/6$ radian for the θ_1 and θ_2 arranged considering the dead region for the workspace of the 2-RR modular robot designs. The xy , yz , xz , and xyz surfaces of the workspaces are plotted in Figure 3a using the algorithm of the $\alpha_{1,2}=i.\pi/3$, $\alpha_{3,4}=i.\pi/6$ for $i=1-6$ for the generalized Equation of $Ad_{(g_{1j-2})} \xi_{1j-2j}^S$.

Programmable workspace analyses of the collaborative robots for macro modular C-manifold 2-RR spatial mechanisms

The previous study mainly focused on the defined constant angle between the C-ISA twists [5]. The article herein does not contain the constant angle between the C-ISA 1 and 2. Thus, the C-ISA 1 and C-ISA 2 shape variable angles are modified independently to realize various rule-based workspaces and trajectories for multi collaborative robot control. The skew twist angles of the joints α_1, α_2 for the first joint and α_3, α_4 for the second joint in Figure 1. These parametric angles are used to describe the workspaces in the following sections.

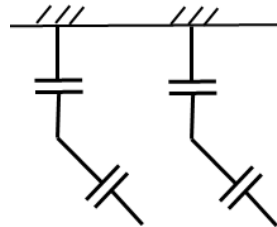
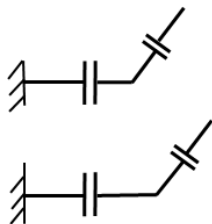
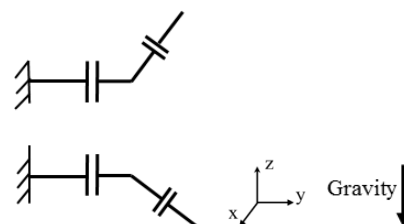


Figure 1. The robots with α_1, α_2 and α_3, α_4 angles for the joints of two robots: 2 || hh - 2 ||

The serial collaborative multi-robot task spaces are for the design and programming of the workspaces for the modular design of 2-RR serial robot systems. The end effector joint and spatial second joint twists with adjoints define the $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3,$ and α_4 for workspace analyses of $(SE(3) \times S^1 \times S^1)$ C-manifold using Lie algebra based toolbox (Sahin, 2021).



a) 4-RRRR: 2 || vv - 2 ||



b) 4-RRRR: 2 || vv - 2 \perp

Figure 2. The configurations of the 4-RRRR parallel robots generated by the integration of the two of the modular 2-RR collaborative multi-robots.

The defined values are θ_1 and $\theta_2 = 5\pi/6$ radian with $i = 1-6$ for the workspaces described by $Ad_{(g_{1j-2})} \xi_{1j-2j}^S$. The workspaces of C-manifolds are for the C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}$ and for the C-ISA 2 of $\alpha_{3,4}$.

Table 1. Specifications for the plots of both the *variable order and value* based algorithm

Algorithm	α_1	α_2	α_3	α_4	θ_1	θ_2	i
a	$i.\pi/3$	$i.\pi/3$	$i.\pi/6$	$i.\pi/6$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
b	0	0	$i.\pi/100$	$i.\pi/100$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
c	$i.\pi/(10)$	$i.\pi/(10)$	$i*\pi/100$	$i*\pi/100$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
d	0	0	$i.\pi/(10)$	$i.\pi/(10)$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
e	0	0	$i.\pi/10$	$10\pi/(i+1)$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
f	$i.\pi/100$	0	$i.\pi/100$	0	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
g	0	$i.\pi/10$	0	$i.\pi/10$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
h	$i.\pi/30$	$i.\pi/30$	$i.\pi/20$	$i.\pi/20$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
i	0	$i.\pi/10$	0	$i.\pi/10$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6
k	$i.\pi/10$	$i.\pi/10$	$i.\pi/10$	$i.\pi/10$	$5\pi/6$	$5\pi/6$	1-6

The parameters are $(\theta_1, \theta_2, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$, $i=1-6$, for the equations in Table 1. The θ_1 and $\theta_2 = 5\pi/6$ are radian. The algorithm of the design process is described step by step with algorithm 1 of Figure 3 for the generation of the spatial workspace of the multi-collaborative 2-RR robots.

Algorithm 1	Design spatial workspace of the multi-collaborative 2-RR robots in Results section
1	Input variables: $(\theta_1, \theta_2, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$,
1	Declare shape variables of the manifolds with: 2-RR robot: $\alpha_{1-4}, \theta_{1,2}$
2	Define the values of the variables $(\alpha_{1-4}, \theta_{1,2})$ for the plots of the defined algorithms in Table 1 as specified variables.
3	Define the plots of the $i = 1-6$ in a loop according to the formulas in Table 1.
4	Apply the values of the variables into the spatial workspace equation of the $Ad_{(g_{1j,1})} \xi_{0,1j}^S$ using LAFKID-ROT
5	Plot the spatial workspace results therein Figure 4a-k defined by LAFKID-ROT.
6	Output variables: result of the spatial workspace $Ad_{(g_{1j,1})} \xi_{0,1j}^S$ in x, y, z coordinates

Figure 3. Design spatial workspace of the multi-collaborative 2-RR robots in Results section

Algorithm 1 indicates the steps of the workspace design, as in Figure 4.

The Results of Workspaces with the independent C-ISA Angles for Collaborative Multi-Robot Programming of 2-RR

In this subsection, I will characterize the $\theta_{1,2}$ and α_{1-4} for macro modular C-manifold. These parameters are six configurations that designate the regular motion patterns for an algorithm of task spaces in robot kinematics, as shown in Figures 1 and 2. The ranges of the θ_1 and θ_2 are $0-5\pi/6$ radian again. The spatial shape variables define the parameters of the α_{1-4} while the reduced shape variables are selected as θ_1 and θ_2 . The workspaces for the 2-RR modular robots configure the results using the kinematic equation of the $Ad_{(g_{1j,2})} \xi_{1,2j}^S$ as in the following sections.

Previously, the constant constraint angle in between the C-ISA twists was utilized for the workspace design (Sahin, 2021). The study herein is aiming the algorithmic workspace programming without

considering the constant angle between C-ISA 1 and 2. The rules herein are arranged with the defined six workspace regions of the algorithmic formula dependent on the ratio of i as shown in Table 1. These scenarios are an indication of the rules of the overlapping conditions algorithmically which are applicable to the collaborative multi-robots.

Depending on the design of the 2-RR robots, overlapping might require specific trajectory path planning of the macro modular structures for the interaction of the multiple robots.

Similarly, the workspaces without overlapping for six 2-RR modular robots are required for collision avoidance purposes in path planning. The overlapping causes the collaborative work of multiple robots. The macro modular *C-manifolds* of 2-RR modular robots can select a configuration-dependent workspace from the classified group of Figure 3. Upon defining the workspace overlapping between each pair of robots, the six modular robots are designed accordingly.

The rule-based equations for the C-ISA 1 and 2 angles are defined as in Figure 3 to create the reachable workspaces with specified conditions as in the Table 1. These conditions, as shown in Table 1 for Figure 3, can be classified as

1. non-overlapping of any macro modular workspaces (a-e),
2. overlapping on the edge of the workspaces (**f - g**), and
3. overlapping in the middle of the workspaces (**h - k**).

Upon overlapping the workspaces utilized for transitions from one workspace to another, workspaces are in path planning of the macro modular structures of the 2-RR modular robots for the equations in Table 1.

The rule-based constraint equations are defined with the relative angular position of the α_{1-4} . This rule-based relativity is based on the relative angular positions of the α_1 , α_2 , α_3 , and α_4 for the macro modular *C-manifolds*. The rule-based constraints of the C-ISA 1 and 2 are in the Figures of the (3a-3h) as the $(\alpha_{1,2} - \alpha_{3,4})$, $(\alpha_{1,3} - \alpha_{2,4})$ and $(\alpha_{1,2} - \alpha_{3,4})$. The mathematical rules are designed by the relative positions between $\alpha_{1,2}$ and $\alpha_{3,4}$, between $\alpha_{1,3}$ and $\alpha_{2,4}$. Similarly, the relative positions are arranged among $\alpha_{1,2}$, α_3 , and α_4 shape variables. The specified characteristics of the overlappings are explained below.

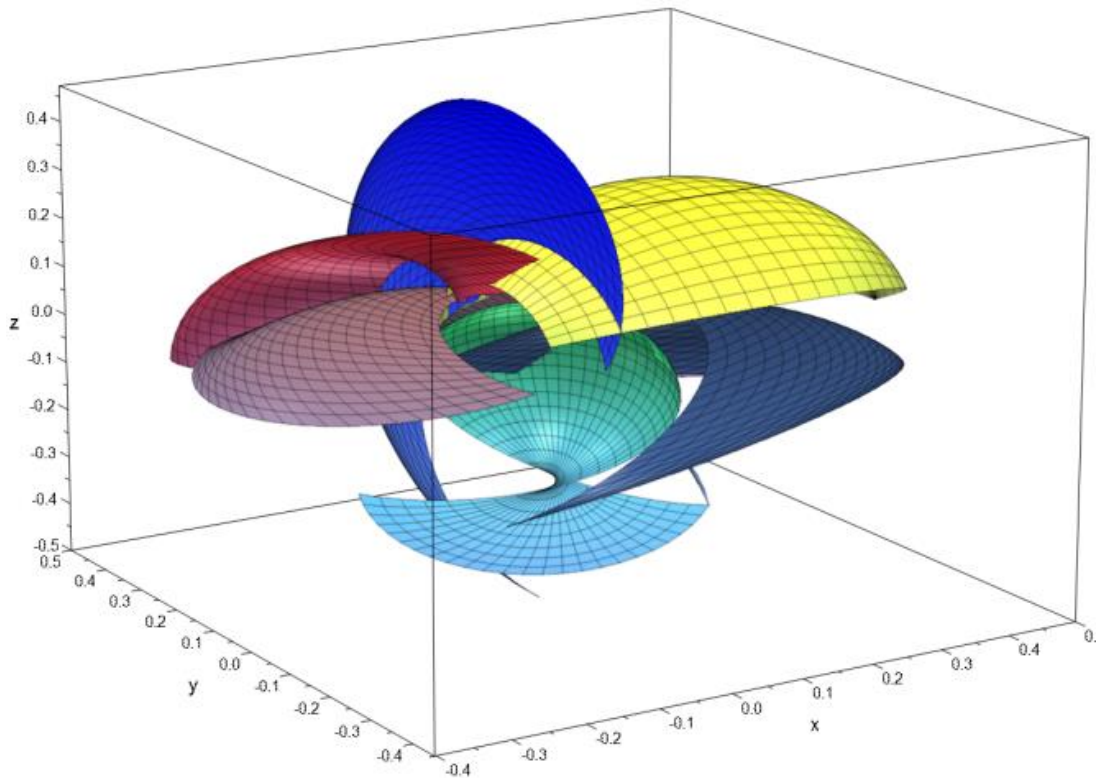
1. The regional overlapping on the common diagonal axis in Figure3 **h**,
2. The regional overlapping on the common axis parallel to y in Figure 3 **i**,
3. Multiple regional overlappings in Figure 3 **k**,
4. Overlapping on the one edge of y in Figure 3 **g**,
5. Overlappings on the two edges of z in Figure 3 **f**.

Rules of the C-ISA 1 and 2 are for C-manifolds as in the Equation of the $Ad_{(g_{1j-1})} \xi_{0-1j}^S$

The ($Ad_{(g_{1j-2})} \xi_{1j-2j}^S$) of workspaces is for six shape variables $(\alpha_{1-4} \theta_{1,2})$ of the two reduced shape variables θ_1 and θ_2 . The geometric parameters are $l_1 = 0.2$ meter and $r_1=r_2= 0.1$ meter for the Figure 3. The *task spaces* are identified with the shape variables α_{1-4} and $\theta_{1,2}$. The reduced shape variables

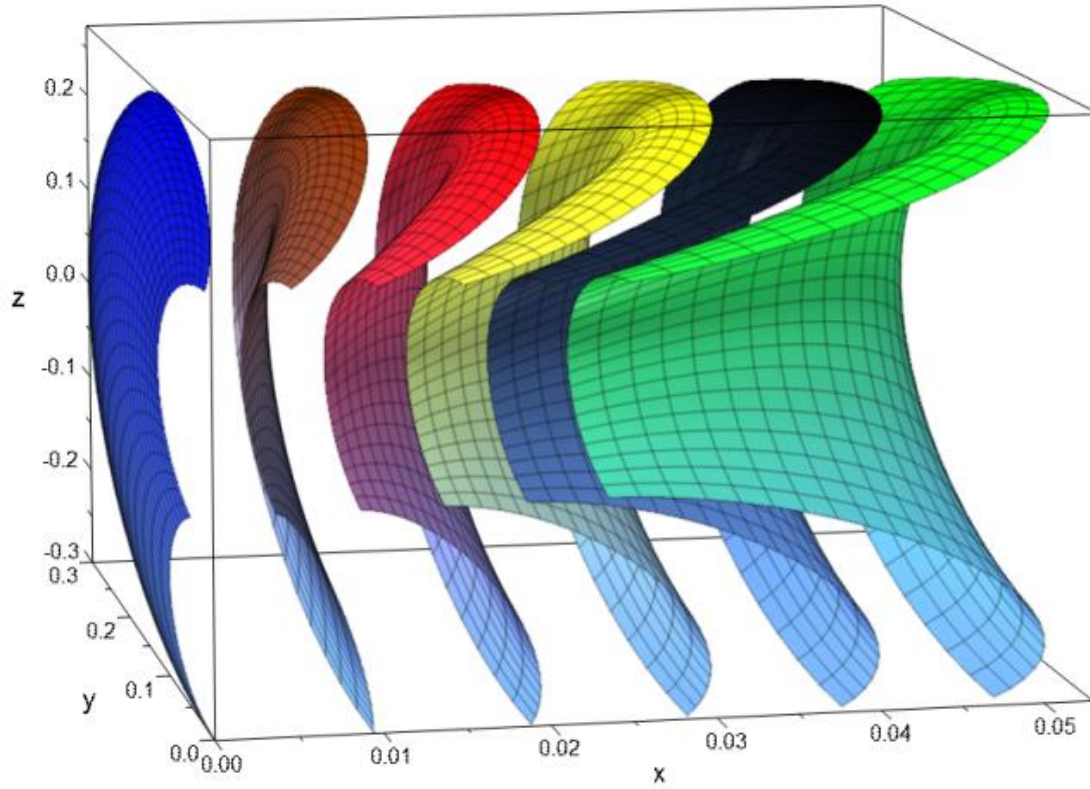
of $\theta_{1,2}$, with $5\pi/6$ radians, are used to rotate around the skew axes created via $\alpha_{1,4}$ for macro modular *C-manifolds* of 2-RR robots. The collar code is as follows.

Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



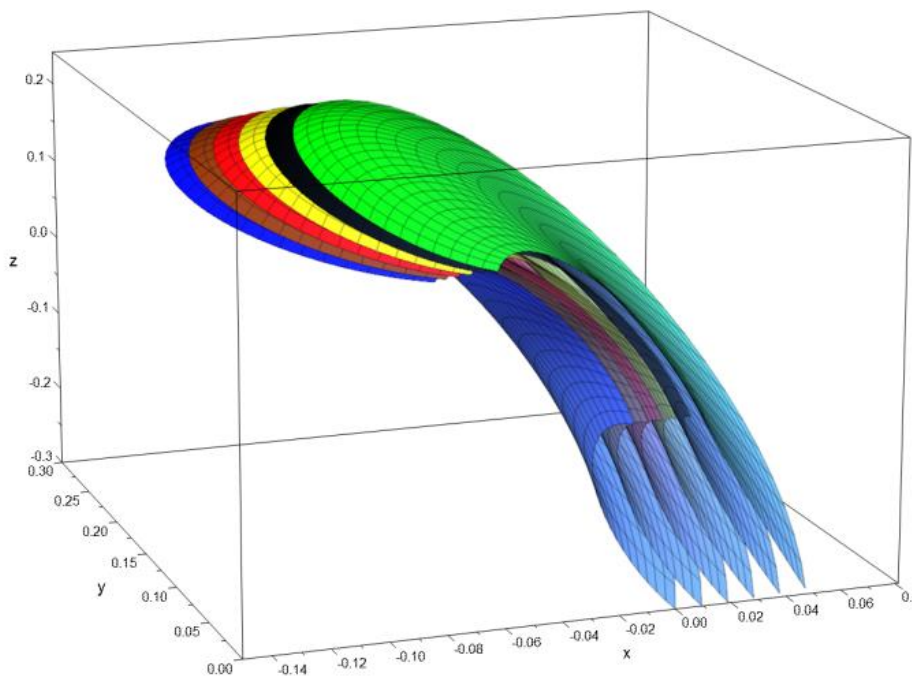
4a) The workspaces of *C-manifolds* for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}=i\pi/3$ and C-ISA 2 of $\alpha_{3,4}=i\pi/6$.

Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



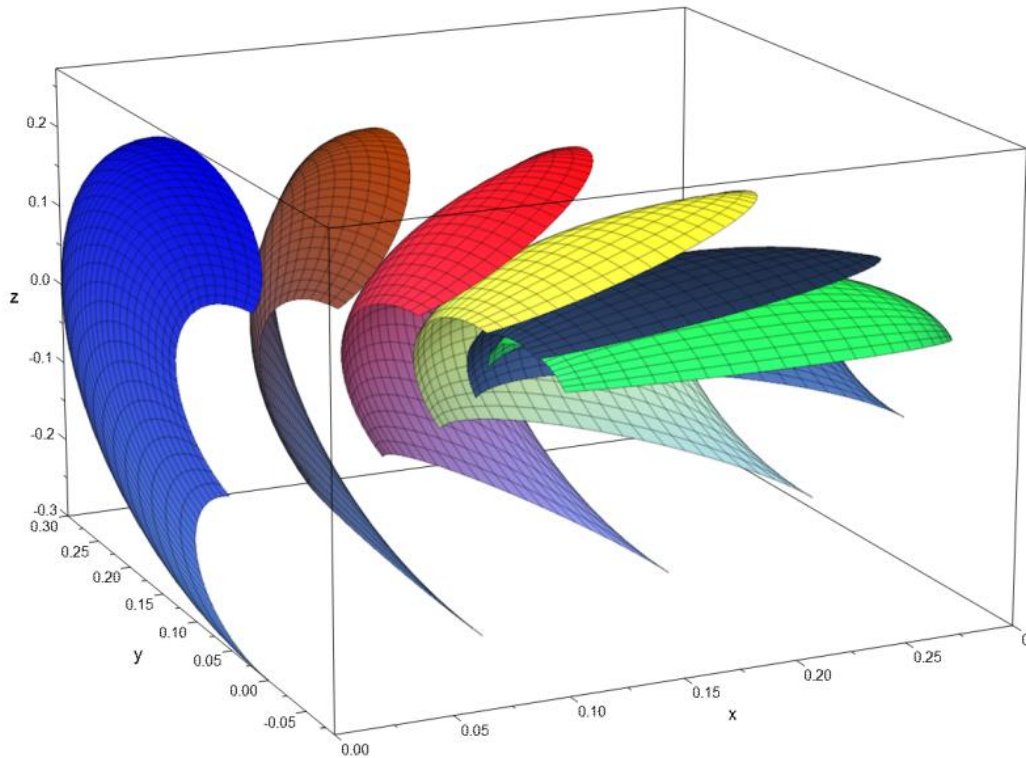
4b) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}=0$ and C-ISA 2 of $\alpha_{3,4}=i\pi/100$.

Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



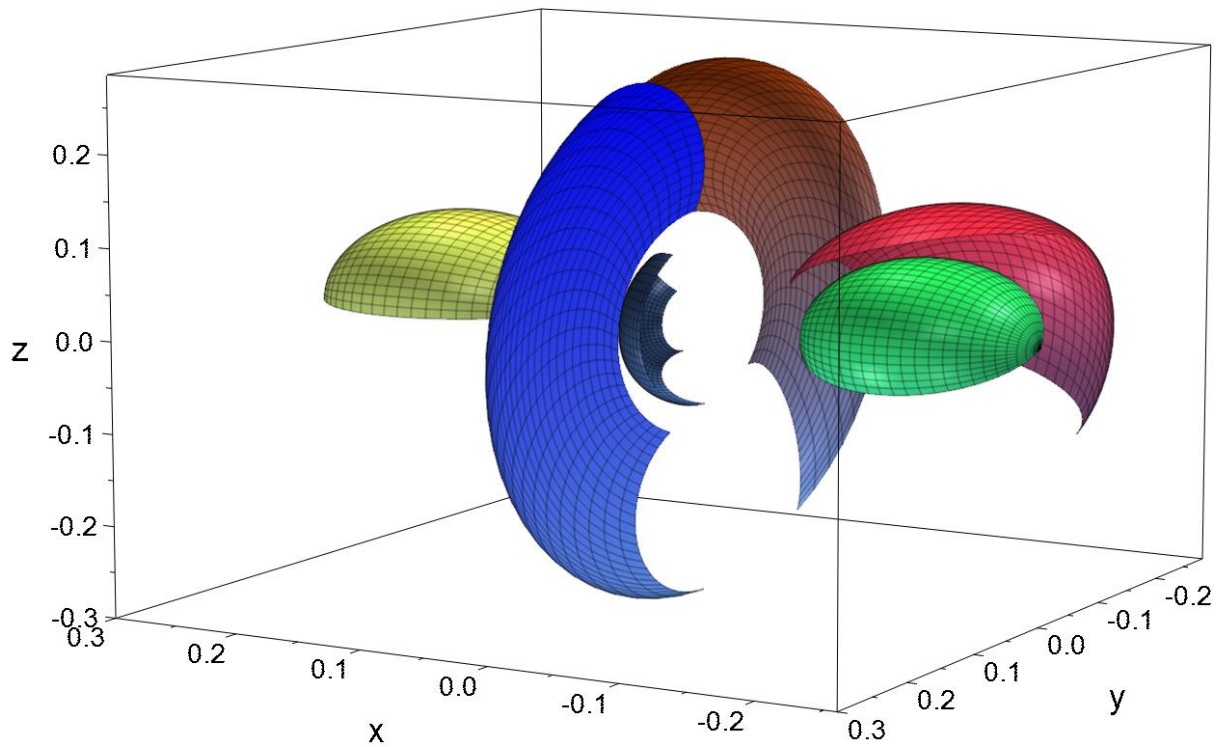
4 c) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}=i\pi/(10)$, C-ISA 2 of $\alpha_{3,4}=i*\pi/100$.

Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



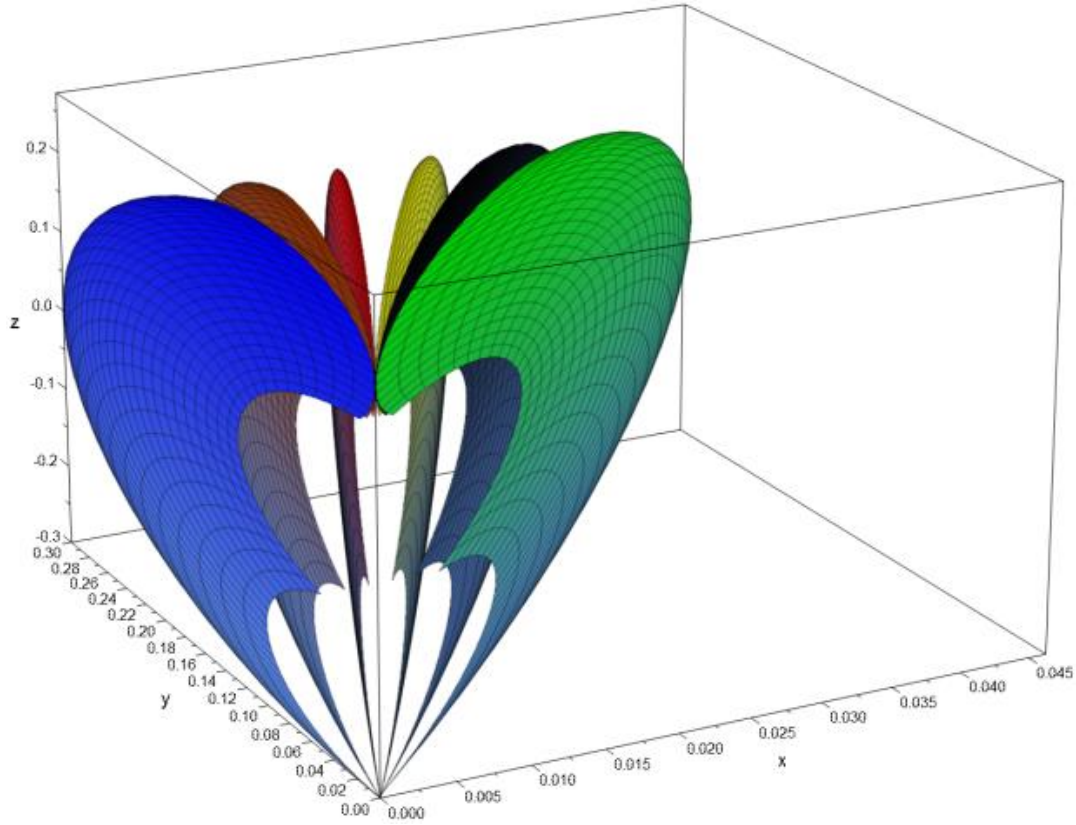
4d) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}=0$ and C-ISA 2 of $\alpha_{3,4}=i\pi/10$.

Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



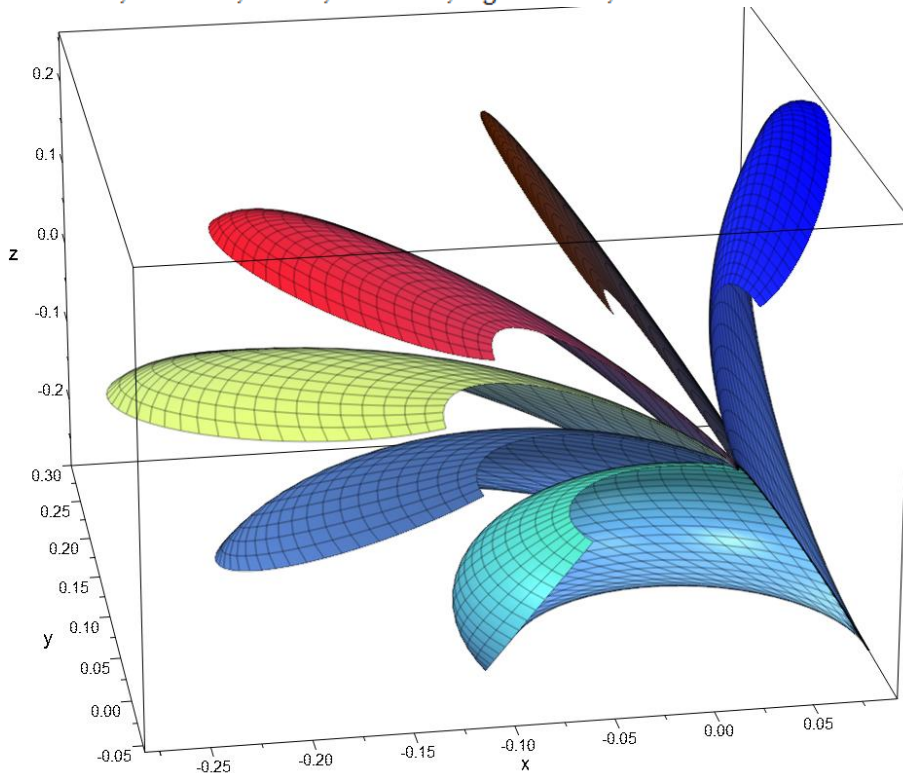
4e) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}=0$ and C-ISA 2 of $\alpha_3=i\pi/10, \alpha_4=10\pi/(i+1)$

Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



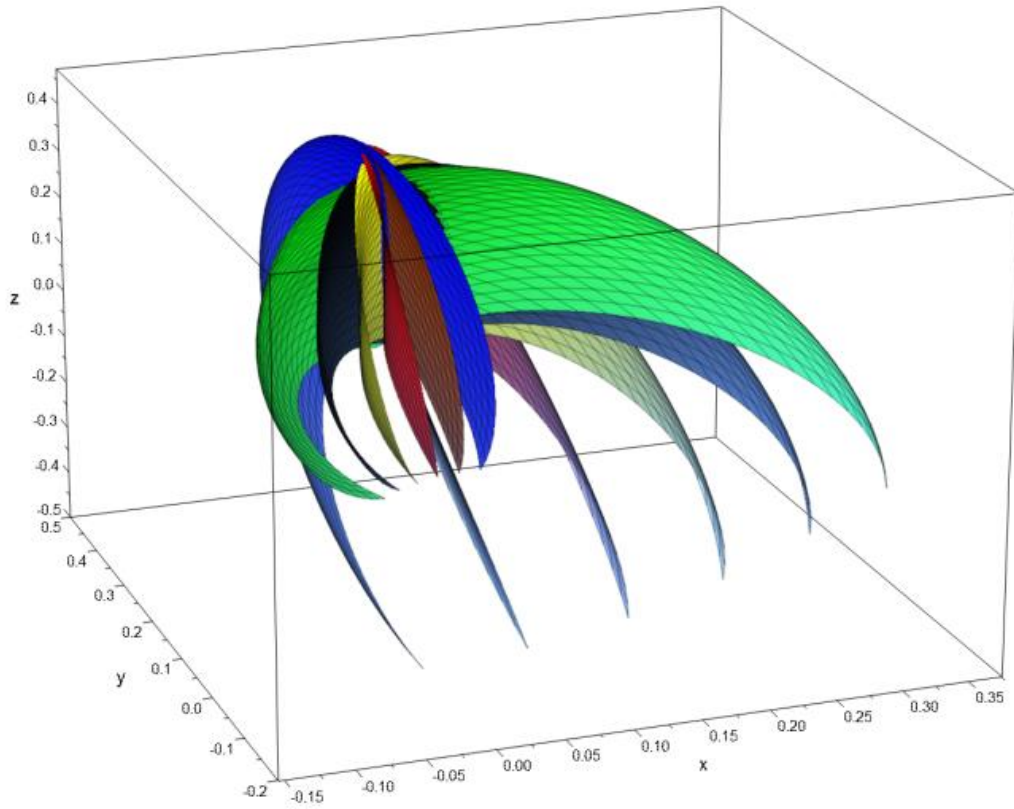
4f) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,3}=i\pi/100$ and C-ISA 2 of $\alpha_{2,4}=0$.

Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6

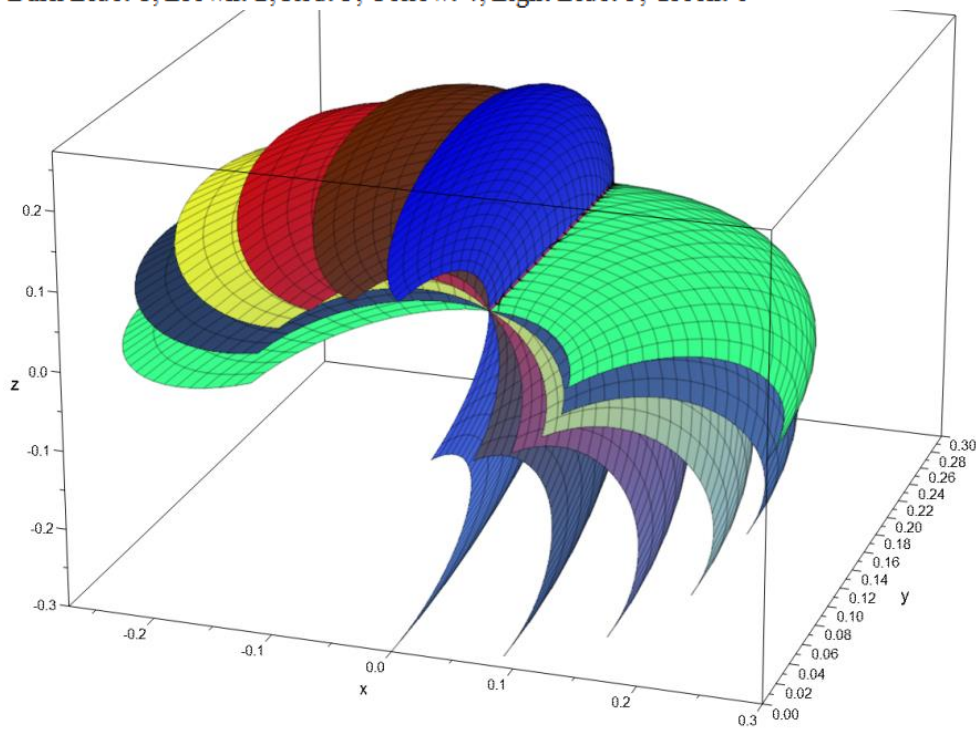


4g) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,3}=0$ and C-ISA 2 of $\alpha_{2,4}=i\pi/10$.

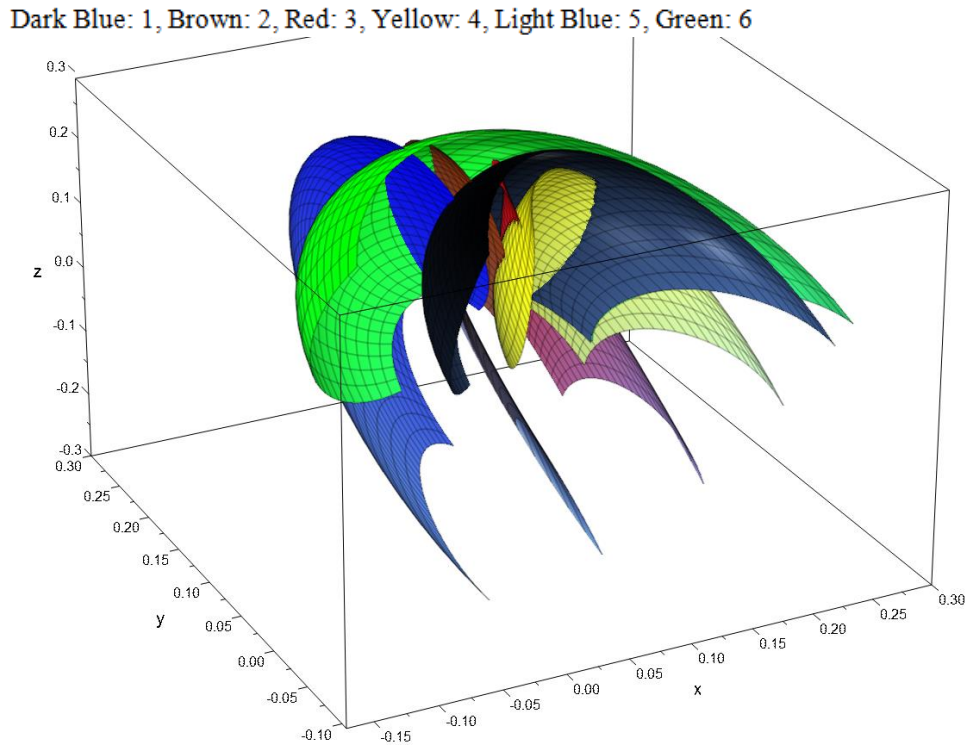
Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



4h) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}=i\pi/30$ and C-ISA 2 of $\alpha_{3,4}=i\pi/20$.
 Dark Blue: 1, Brown: 2, Red: 3, Yellow: 4, Light Blue: 5, Green: 6



4i) The workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,3}=0$ and C-ISA 2 of $\alpha_{2,4}=i\pi/10$.



4k) The workspaces of *C-manifolds* for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2}=i.\pi/10$ and C-ISA 2 of $\alpha_{3,4}=i.\pi/10$.

Figure 4. The reduced shape variable values are θ_1 and $\theta_2 = 5\pi/6$ radian with $i = 1-6$ for the workspaces defined as $Ad_{(g_{1j,2})} \xi_{1j,2}^S$.

If the collaborative functionalities require the concurrent and synchronous motion of the multiple robots for processing the parts in the automation system, the overlapping of the workspace designs contributes to the trajectories for macro modular *C-manifold* accordingly, as indicated in the Figures of the **4 f -4 k**. The combination of the orthogonal and parallel axes of rotations for workspace shapes the spatial workspaces of the 3a and 3e with no overlapping. The **4f** and **4g** are overlapping on the edge or corner of the workspaces. The *C-manifolds* specified the C-ISA of rule-based α_{1-4} values using differential geometry.

The workspaces in Figure 4c can depict that parallel 2-RR modular robots established with configurations. They can collaborate to manipulate multiple objects in automation for the planned *task spaces*. Collaborative robots can be designed using the positions of Figure 4b and 4d on the same axis for the concentric axis of the workspaces. The parallel workspaces of a flat surface without overlapping of the 2-RR parallel modular robots depict that they can access the same space with the same positional orientation and position parallelly, as shown in Figure 4c. Collaborative robots can exploit designed configurations of Figure 4b and 4d on the same axis of rotation for workspaces. The configuration-dependent modular design of C-ISA 1 and 2 achieved no overlapping workspaces, parallel workspaces, and concentric axes of workspaces for the six 2-RR modular robots. Thus, the kinematic synchronized motion control of the 2-RR modular robots of macro modular *C-manifold* accomplish the qualified workspace designs developed, as shown in Figure 3.

These algorithms describe applying the parametric variables of the α_{1-4} , as indicated in the Figures of the 4a- **k**. The collaborative multi-robots can be integrated based on the workspace results of Figure 4. Furthermore, the rule-based workspace for *task space* generates using the kinematics equations developed by the SMILAT method (Sahin, 2021).

Discussions

The results hereby are classifying the created workspaces via algorithmic workspace programming of the collaborative multi-robots. These classifications herein are the non-overlapping workspaces (a-e), overlapping on the edge of the workspaces (**f - g**), overlapping in the middle of the workspaces (**h - k**).

The mathematical rules are designed by the relative positions between $\alpha_{1,2}$ and $\alpha_{3,4}$, between $\alpha_{1,3}$ and $\alpha_{2,4}$. Similarly, the relative positions are arranged among $\alpha_{1,2}$, α_3 , and α_4 shape variables. The specified characteristics of the overlappings are explained in the results section as below.

1. The regional overlappings are collaborating on the common diagonal axis wherein the collaboration occurs in diagonal of the six multi-robots
2. The regional overlappings are collaborating on the common axis parallel to y for the six robots.
3. Multiple regional overlappings occurs for the six collaborative 2-RR robots.
4. Overlapping the one edge is collaborating on the y axis where the vertical motion occurs for the robots.
5. Overlappings are collaborating on the two edges of the z-axis.

Rules of the C-ISA 1 and 2 are for C-manifolds as in the Equation of the $Ad_{(g_{1j,1})} \xi_{0-1j}^S$.

A former study of the author generated the toolbox for the 2-RR modular robot workspace. Previously, the angles were constant in between the twists (Sahin, 2021). The study, herein, aims at the algorithmic workspace programming without considering the angle between C-ISA 1 and 2. This reduction in the level of the constraints can unveil the extended boundaries of the algorithms developable for collaborative multi-robots. The collaboration regions of workspaces herein are definable with the intersecting areas for collaborative trajectories among the six multi-robots. The results indicate the mentioned regions with the rules.

The algorithm design of the workspaces of the modular C-manifold mechanisms of collaborative multi-robot defines the following steps as tasks.

Step 1: Select the sequence of the reduced shape variables for 2-RR collaborative robots.

Step 2: Select the range of the reduced shape variables.

Step 3: Select the collaboration-related proximities between the workspaces for the defined task spaces of the multi-robots.

Step 4: Select one workspace of the C-manifolds with vertical, lateral, diagonal, spatial workspace sequence for the collaborative multi-robot systems of the task spaces.

Step 5: One can select a combination of the C-manifold surfaces dependent on the task spaces.

Step 6: Define the trajectories of the line paths using the workspaces.

The workspaces design the surfaces with the parameters of the $(\alpha_1, \alpha_2, \theta_1)$, $i=1-8$, and $\alpha_1 = \pi/i$, $\alpha_2 = 0 - \pi/i$. The animations describe these C-manifold surfaces of $\theta_1 = 0 - \pi/i$ while defining the third dimension as an iterative change in perpendicular dimension. The multiple surface animations can be created from the workspaces using three reduced shape variables of θ_1 , α_1 , and α_2 , θ_2 , α_3 , and α_4 . The loaded paths are for the generated workspaces of C-manifolds for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2} = i\pi/30$ and C-ISA 2 of $\alpha_{3,4} = i\pi/20$.

The depository of the trajectories generates toward the saved workspaces. The workspaces are stored to realize the appropriate paths out of them. The parametric values to form them extracted the algorithms of the saved workspaces for the collaborative robots. The generated workspace of 3f has the parameters of $\alpha_{1,2} = i\pi/30$ and $\alpha_{3,4} = i\pi/20$. The reduced shape variable values are θ_1 and $\theta_2 = 5\pi/6$ radian with $i = 1-6$ for the workspaces defined as $Ad_{(g_{1j,2})} \xi_{1j,2j}^S$.

The algorithm for trajectory 1 obtains using workspace 3f. When $i = 1$ is substituted then the parameter values are $\alpha_{1,2} = 1\pi/30$ and $\alpha_{3,4} = 1\pi/20$. The lines to follow are including $\theta_1 = 0$ and $\theta_2 = 0 - 5\pi/6$ as the parametric algorithm from the workspaces. Additionally, the line generation obtained with the parameter values of the $\theta_1 = 5\pi/6$ and $\theta_2 = 0 - 5\pi/6$.

The workspace algorithms are for the collaborative multi-robot trajectory and workspace design with collision avoidance. The algorithm for trajectory six is creatable using workspace 3f. When $i = 6$, then the parameters have the values of the $\alpha_{1,2} = 6\pi/30$ and $\alpha_{3,4} = 6\pi/20$.

The trajectories are generatable via $\theta_1 = 0$ and $\theta_2 = 0 - 5\pi/6$. Another path is generated via the values of the $\theta_1 = 5\pi/6$ and $\theta_2 = 0 - 5\pi/6$. The boundaries of the workspaces are realized as a group of the created trajectories out of the workspace surfaces.

Workspace algorithms activate the collaborative multi-robot trajectory and workspace design with collision avoidance. The multi collaborative robots actuate using algorithm 1.

Algorithm 1 is defined to shape the trajectories using the created workspaces. The workspaces of C-manifolds are for C-ISA 1 of $\alpha_{1,2} = i\pi/10$ and C-ISA 2 of $\alpha_{3,4} = i\pi/10$. The reduced shape variable values are $\theta_1 = 0 - 5\pi/6$ and $\theta_2 = 0 - 5\pi/6$ radians with $i = 1-6$ for the workspaces defined as $Ad_{(g_{1j,2})} \xi_{1j,2j}^S$.

Conclusion

This study generates the rules and algorithms for the design of the 2-RR workspaces of the collaborative multi-robots. These mathematical and kinematic rules with the developed algorithm are the novelty of this research article. The results unveil the novel workspaces with the generated algorithms. The multi collaborative robots shall use these algorithms for trajectory generations without collisions. The transitional regions of the intersections in the workspaces are also the state-of-the-art

value additions for this article herein. These classifications for the transitional path generations can aid the six multi-robots to operate wherein they access the same generated path to collaborate for the task spaces. The collisions are avoidable for the six 2-RR robots with the algorithms developed for trajectory generation while functioning in the environment of the multi robotic systems. The results convince the further investigation of the multi collaborative robot workspace analyses using the developed algorithms herein.

The depository of the trajectories is creatable via the algorithms of the workspaces defined herein, which are expandable into further robotic configurations. The boundaries of the algorithm for the path generations are realized herein for the six collaborative multi-robots. These boundaries determine via the interaction with each other according to the standards.

Acknowledgments

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

References

- Byner C., Matthias B., Ding H. Dynamic speed and separation monitoring for collaborative robot applications – Concepts and performance. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 2019; 58: 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.11.002>
- Clark AB., Rojas N. Design and workspace characterisation of malleable robots. 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Paris, France, 2020;9021-9027, doi: 10.1109/ICRA40945.2020.9197439
- Dilibal S., Sahin H., Danquah JO., Faruk EMO., Choi JW. Additively manufactured custom soft gripper with embedded soft force sensors for an industrial robot. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 2021; 22 (4): 709-718.
- Elbanhawi M., Simic M. Sampling-based robot motion planning: A review. *IEEE Access* 2014; 2: 56-77.
- Feng Z., Hu G., Sun Y., Soon J. An overview of collaborative robotic manipulation in multi-robot systems. *Annual Reviews in Control* 2020; 49: 113–127.
- Henderson AMT., Prazenica RJ. Trajectory generation for a multibody robotic system using the product of exponentials formulation. *American Institute of Aeronautics and Astronautics* 2021-

2016. 4 Jan 2021 Forum. <https://doi.org/10.2514/6.2021-2016>
- International Organization for Standardization, ISO/TS15066:2016 – Robots and Robotic Devices – Collaborative Robots, 2016.
- Krizmancic M., Arbanas B., Petrovic T., Petric F., Bogdan S. Cooperative aerial-ground multi-robot system for automated construction tasks. in *IEEE Robotics and Automation Letters* 2020; 5(2): 798-805.
- Lakshmanan AK., Mohan RE., Ramalingam B., Anh VL., Veerajagadeshwar P., Tiwarb K., Ilyasa M. Complete coverage path planning using reinforcement learning for Tetromino based cleaning and maintenance robot. *Automation in Construction* 2020; 112: 1-11.
- Le AV., Nhan NHK., Mohan RE. Evolutionary algorithm-based complete coverage path planning for tetriamond tiling robots. *Sensors* 2020; 20(2): 1-14.
- Martínez O., Campa R. Comparing methods using homogeneous transformation matrices for kinematics modeling of robot manipulators. In: Pucheta M., Cardona A., Preidikman S., Hecker R.(eds) *Multibody Mechatronic Systems. MuSMe 2021. Mechanisms and Machine Science*, 94. Springer, Cham, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60372-4_13
- Marvel AJ., Norcross R. Implementing speed and separation monitoring in collaborative robot workcells. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 2017; 44: 144–155.
- Moe S., Pettersen KY., Gravdahl JT. Set-based collision avoidance applications to robotic systems. *Mechatronics* 2020; 69: 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2020.102399>
- Olesen AS., Gergaly BB., Ryberg EA., Thomsen M.R., Chrysostomou D. A collaborative robot cell for random bin-picking based on deeplearning policies and a multi-gripper switching strategy. *Procedia Manufacturing* 2020; 51: 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.002>.
- Queralta JP., Taipalmaa J., Pullinen BC., Sarker VK., GIA TN., Tenhunen H., Gabbouj M., Westerlund T. Collaborative multi-robot search and rescue: planning, coordination, perception, and active vision. In *IEEE Access* 2020; 8: 191617-191643.
- Rajesh KM., Anandu R., Sakthiprasad KM. Comparison of planned path and travelled path using ros navigation stack. 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET) 1-6, 2020.
- Sahin H. The modular nonoverlapping grasp workspaces and dynamics for the grippers using the micro and macro C-Manifold design. *Journal of Scientific & Industrial Research* 2021; 9: 766-776.
- Su H., Liu S., Zheng B., Zhou X., Zheng K. A survey of trajectory distance measures and performance evaluation. *The International Journal on Very Large Data Bases* 2020; 29: 3-32.
- Thalamy P., Piranda B., Bourgeois J. A survey of autonomous self-reconfiguration methods for robot-based programmable matter. *Robotics and Autonomous Systems* 2019; 120: 1-17.
- Wang J., Meng MQH. Optimal path planning using generalized voronoi graph and multiple potential functions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2020; 67(12): 10621-10630.
- Wang X., Liu X., Chen L., Hu H. Deep-learning damped least squares method for inverse kinematics of redundant robots. *Measurement* 2021; 171: 108821, ISSN 0263-2241.

Xiao F., Li G., Jiang D., Xie Y., Yun J., Liu Y., Huang L., Fang Z. An effective and unified method to derive the inverse kinematics formulas of general six-DOF manipulator with simple geometry. *Mechanism and Machine Theory* 2021; 159: 1-14.

Yang S., Wen H., Hu Y., Jin D., Coordinated motion control of a dual-arm space robot for assembling modular parts. *Acta Astronautica*. *Acta Astronautica* 2020; 177: 627–638.

Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Modeli ve Kültürel Algoritma Modeli Kullanılarak Geliştirilen Melez Yöntem ile Kısa Vadeli Fotovoltaik Enerji Santrali Çıkış Gücü Tahmini

Kübra TÜMAY ATEŞ^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-3337-7969>

*Sorumlu yazar: ktumay@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.11.2021

Kabul tarihi:12.02.2022

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Fotovoltaik enerji
Kültürel algoritma
Parçacık sürü optimizasyonu
Kısa vadeli güç tahmini
Melez yöntem

ÖZ

Güneş enerjisinden elde edilen sürdürülebilir enerji, konut, ticari ve endüstriyel uygulamalarda enerji talebini karşılamada önemli kaynaklardan biri haline gelmiştir. Ancak güneşten elektrik enerjisi üretimindeki temel zorluk, fotovoltaik (FV) enerji santrallerinde hava koşullarından kaynaklanan güçteki anlık değişimlerdir. Büyük ölçekli güneş FV enerji santralleri için, güç dengesizlikleri elektriksel olarak sistem verimliliği ve kararlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, FV enerji santrallerinin çıkış gücünün kısa vadede doğru tahmin edilmesi, elektrik şebekesi üretim, dağıtım ve depolamanın günlük/saatlik verimli yönetimi ve enerji piyasasında karar verme için büyük önem taşımaktadır. Bu makalede, FV enerji santralının güç üretimini tahmin etmek için kültürel geçiş hedefi temelinde popülasyon tabanlı bir algoritma geliştirmeyi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda, her yinelemede tüm değişkenleri göz önünde bulundurarak daha hızlı yakınsamaya olanak sağlaması özelliği ile Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemi ile kısa vadeli tahmin yapılmaktadır. Kısa vadeli FV panel çıkış güç tahminin sonuçlarını en az hata oranı ile elde etmek için çok katmanlı yapay sinir ağı modeli PSO ve Kültürel Algoritma (KA) ile kullanılarak melez yöntem oluşturulmuştur. KA iterasyon sırasında toplanan bilgileri depolama ve daha sonra kullanma özelliği ile evrimsel algoritmalarından daha hızlı yakınsama sağladığı için FV enerji çıkış gücü kısa vadeli tahmininden etkin sonuçlar elde edilmiştir.

Short Term Photovoltaic Power Plant Output Power Forecasting with Hybrid Method Developed Using Multilayer Artificial Neural Network Model and Cultural Algorithm Model

Research Article

Article History:

Received: 26.11.2021

Accepted: 12.02.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Photovoltaic energy
Cultural algorithm
Particle swarm optimization
Short-term power forecast
Hybrid method

ABSTRACT

Sustainable energy obtained from solar energy has become one of the important sources in meeting the energy demand in residential, commercial and industrial applications. However, the main difficulty in generating electricity from solar energy is the instantaneous changes in power caused by weather conditions in photovoltaic (PV) power plants. For large-scale solar PV power plants, power imbalances electrically negatively affect system efficiency and stability. Therefore, accurate forecasting of the output power of PV power plants in the short term is of great importance for efficient daily/hourly management of electricity grid generation, distribution and storage and for decision making in the energy market. This paper aims to develop a population-based algorithm estimating the power generation of a PV power plant based on the cultural transition target. Also, short-term forecasting is carried out based on the Particle Swarm Optimization (PSO) method, with the feature of allowing faster convergence by considering all the variables in each iteration. In order to obtain the results of short-term PV

panel output power estimation with the least error rate, a hybrid method was created by using the multilayer artificial neural network model with PSO and Cultural Algorithm (CA). Since the CA provides faster convergence than evolutionary algorithms with the ability to store and use the information collected during iteration, effective results are obtained from the short-term forecasting of the PV energy output power.

To Cite: Ateş KT. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Modeli ve Kültürel Algoritma Modeli Kullanılarak Geliştirilen Melez Yöntem ile Kısa Vadeli Fotovoltaik Enerji Santrali Çıkış Gücü Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):342-354.

Giriş

Küresel ısınma ve son yıllarda fosil kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesi, yenilenebilir enerji santrallerinin yaygınlaştırılmasına ve geliştirilmesine sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin doğada bol miktarda bulunması, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynağı olmasından dolayı fosil enerji kaynaklarının yerini almaktadır. Ancak, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede kullanılan fotovoltaik (FV) enerji santrallerinin çıkış gücünün hava koşullarına bağlı olarak anlık değişmesi güç santrallerinde ani güç dengesizliklerine neden olmaktadır. FV enerji bağlı güç sistemlerindeki ani değişimlerin gözlenilmesi önemli bir konu haline gelmektedir. FV enerji santrallerinden üretilen enerjinin tahmin edilerek güç dengesizliklerinin önüne geçilmesi için araştırmacılar yapay zekâ tabanlı algoritmalar kullanarak güç tahminleri yapmaktadır.

AlHakeem ve ark., (2015) entegre bir dalgacık dönüşümü modeli ve geliştirilmiş bir regresyon sinir ağı kullanan deterministik melez akıllı modelden elde edilen FV güç tahminlerinin belirsizlik tahminini ölçmek için önyüklemeye güven aralıklarını çalışmaktadır. Yenilenebilir enerji güç santrallerinde karşılaşılan en önemli sorunlarından biri, değişken güç sistemlerin çıktısının tahmin edilemeyen ve kontrol edilemeyen hava koşullarının değişkenliğine bağlı olarak anlık dalgalanmalardır. Bu açıdan bakıldığında, kısa vadeli tahmin modeli, güneş FV enerji bağlı şebekenin güvenilirliği ve istikrarı için faydalı bir araç olacaktır. Almonacid ve ark., (2014) dinamik yapay sinir ağına dayalı olarak bir FV enerji santral çıktısını bir saat önceden tahmin etmek için yeni bir yöntem sunmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, önerilen yöntemin, kabul edilebilir bir doğruluk derecesi ile bir saat ilerideki FV santrallerinin güç çıkışını tahmin etmek için kullanılabilirliğini göstermektedir. Cervone ve ark., (2017) sayısal bir hava durumu tahmin modeli ve hesaplanmış astronomik değişkenlerden gelen girdileri kullanarak FV enerji santralleri tarafından üretilen gücün 72 saatlik deterministik ve olasılıksal tahminlerini oluşturmak için Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Analog Topluluğa dayalı bir metodoloji sunmaktadır. Sonuçlar, melez modelin en iyi sonuçları verdiğini ve önerilen modelin büyük ölçekli hesaplama için çok uygun olduğunu göstermektedir. Shuang ve ark., (2019) kopula fonksiyonuna ve uzun kısa süreli yapay zekâ ağına dayalı yeni bir orta-uzun vadeli rüzgâr ve fotovoltaik güç üretimi tahmin yöntemi önermektedir. Rüzgâr ve fotovoltaik enerji üretimini etkileyen temel meteorolojik faktörler, kopula fonksiyonu ile etkin bir şekilde çıkarılmıştır. Uzun kısa süreli yapay zekâ ağına dayalı bağımsız rüzgâr/fotovoltaik tahmin modelleri kalıcılık modeli ile karşılaştırılarak elde edilen en iyi giriş koşulu ile kurulmuştur. Li ve ark., (2016) Florida'daki bir güneş

FV enerji santralinden enerji üretimlerini 15 dakika, 1 saat ve 24 saat önceden tahmin etmek için iki yaygın yöntem olan YSA ve destek vektör regresyonunu (DVR) yöntemlerini değerlendirmektedir. Test edilen makine öğrenimi algoritmalarına dayalı olarak hiyerarşik bir yaklaşım önerilmiştir. Mohammed ve ark., (2018) Fransa, Brittany'de bulunan bağımsız bir melez sistem için rüzgâr/FV/gelgit/depolama pil modelinin enerji yönetimi ve tasarımını optimize etmek için Genetik Algoritmaya (GA) dayalı akıllı bir algoritma geliştirmektedir. Yük talebinin, farklı olası durumlar ve birçok kısıtlamaya uygun çözümler için 25 yıllık bir aralıkta farklı iklim koşulları altında sağlanmasını önermektedir. Theocharides ve ark., (2020) veriye dayalı makine öğrenimi tekniklerine ve istatistiksel son işleme dayalı olarak, saatlik ortalamalı gün öncesi fotovoltaik güç tahminleri için geliştirilmiş doğrulukla melez bir yöntem sunarak bu sorunu ele almaktadır. Sonuçlar, geliştirilmiş gün öncesi fotovoltaik güç üretim sinir ağının tahmin edilen çıktılarına lineer regresyon katsayılarının uygulanmasının, güneş ışınımı tahmin önyargılarını daha da düzelterek performans doğruluğunu geliştirdiğini göstermektedir. Fotovoltaik enerji santrallerin çıkış gücü üzerindeki stokastik hava koşullarının etkisi göz önüne alındığında, karmaşık bir tahmin modelinin gerekliliği hızla artmaktadır. VanDeventer ve ark., (2019) konut ölçekli FV enerji santralinin kısa vadeli güç tahmini için bir genetik algoritma tabanlı destek vektör makinesi (GA-DVM) modeli önermektedir. GA-DVM modeli, başlangıçta bir DVM sınıflandırıcısı kullanarak geçmiş hava durumu verilerini sınıflandırır ve daha sonra bir topluluk tekniği kullanılarak genetik algoritma ile optimize edilir. Mishra ve ark., (2020) uzun kısa dönem bellek tabanlı derin öğrenme tekniği ve dalgacık dönüşüm kavramı kullanılarak yeni bir kısa vadeli güneş enerjisi tahmin modeli sunmaktadır. Önerilen tahmin modelinde, dalgacık dönüşümü, kaydedilen güneş enerjisi zaman serisi verilerini farklı frekans serilerine ayrıştırmak ve ardından istatistiksel özellik çıkarma işlemi yapmak için kullanılır. Geliştirilen hibrit tahmin modelinin etkinliği, ortalama karesel hataların karekökü (OKHK), ortalama mutlak yüzde hata (OMYH), ortalama mutlak hata (OMH) ve R^2 değerleri diğer makine öğrenimi ve derin öğrenme tabanlı modellerle karşılaştırılarak kanıtlanmıştır. Zeng ve Qiao (2013), kısa vadeli güneş enerjisi tahmini için melez en küçük kare DVM tabanlı bir model önermektedir. Elde edilen tahmin sonuçları, önerilen modelin yalnızca otopregresif modelinden önemli ölçüde daha iyi performans göstermediğini, aynı zamanda tahmin doğruluğu açısından radyal tabanlı bir işlev sinir ağı tabanlı modelden daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Ayrıca veri normalizasyonu için sigmoid fonksiyonlara göre geçirgenliği kullanmanın üstünlüğü kanıtlanmıştır. Jang ve ark., (2016) çeşitli uydu görüntülerine dayalı bir güneş enerjisi tahmin modeli ve bir DVM öğrenme modeli önermiştir. Solar enerji sistemlerinin şebekeye entegrasyonu son yıllarda hızlı bir şekilde artmıştır. FV enerji santrallerinin güç çıkışı, çok çeşitli meteorolojik koşullar nedeniyle dalgalanabilmektedir ve şebekeye olumsuz yönde etkilemektedir. Dört yıllık geçmiş uydu görüntülerini analiz edilerek önerilen SVM tabanlı modelin, geleneksel zaman serisi modelinin ve bir YSA modelinin performansını tahmin doğruluğu açısından karşılaştırılmıştır. Abedinia ve ark., (2018) hibrit tahmin modeli olarak bir sinir ağının metasezgisel bir algoritma ile kombinasyonuna dayanan yeni bir tahmin yaklaşımı önermektedir.

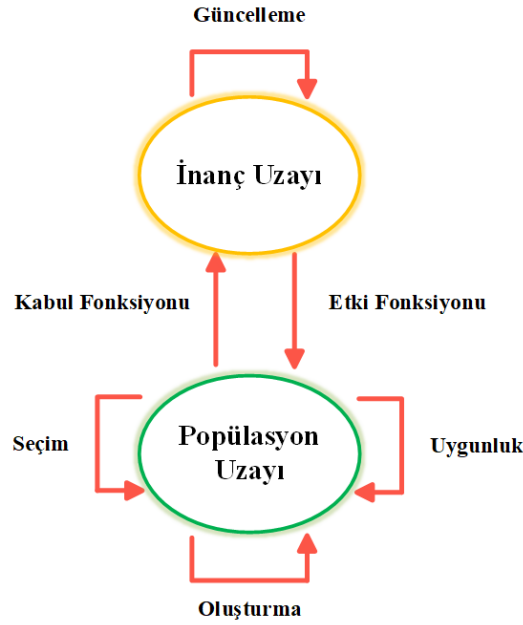
Metasezgisel algoritma, sinir ağının serbest parametrelerini optimize etmektedir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın diğer tahmin yöntemlerine göre üstünlüğünü göstermektedir. Elde edilen tahmin sonuçları, güneş enerjisi santralının verimli kullanımı ve elektrik şebekesinin yönetimi için oldukça önemlidir. Barrera ve ark., (2020) yapay sinir ağlarına dayalı açık veriye kullanılarak güneş enerjisi tahmin modeli geliştirmiştir. Yüksek doğrulukla güneş enerji çıktısı tahmin etme, sürdürülebilir enerji yatırımlarının daha verimli hale getirilmesine büyük ölçüde yardımcı olabilmektedir. Elde edilen sonuçlar ile literatürdeki sonuçlar ortalama karesel hata (OKH) açısından kıyaslandığında, geliştirdiğimiz tahmin modelinin doğruluğunu iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Saberian ve ark., (2014) yapay sinir ağlarına dayanan bir güneş enerjisi tahmin modeli geliştirerek sunmaktadır. Tahmin modelinde beş yıllık veriler 2006–2008 ve 2009-2010 olarak ikiye ayrılmıştır; ilk kısım eğitim için, ikinci kısım ise sinir ağlarını test etmek için kullanılır. Giriş verileri için maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve ışıınım verileri iken; çıktı verisi olarak güneş enerjisi çıkış gücü belirlenmiştir. İki sinir ağı yapısı genel regresyon sinir ağı ileri beslemeli geri yayılım, bir fotovoltaik panel çıkış gücünü modellemek ve üretilen gücü yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılmıştır. Martin ve ark., (2016) sayısal hava modellerini kullanarak günlük güneş enerjisi tahmini ve enterpolasyonu için makine öğrenimi tekniklerine dayanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada çeşitli makine öğrenimi (destek vektör makineleri ve gradyan artırma) ve özellik seçim algoritmaları (doğrusal, ReliefF ve yerel bilgi analizi) kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde solar FV enerji santrallerden etkin bir biçimde yararlanmak veya hava koşullarının sistem üzerinde yarattığı güç dengesizliklerinin önüne geçmek için yapay zekâ tabanlı çeşitli algoritmalar kullanılmıştır. Kültürel algoritmanın diğer evrimsel algoritmalarından daha hızlı yakınsama sağladığı için FV güç enerji santralinde etkin sonuçlar elde edilmesi düşünülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, literatürde ilk defa kültürel algoritma tabanlı yapay zekâ yöntemi kullanılarak solar FV enerji santrallerin çıkış gücü tahmini yapılmaktadır.

FV Enerji Santrali Çıkış Gücü Kısa Vadeli Tahminde Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri

Kültürel Algoritma

Kültürel algoritmalar (KA) ilk olarak Reynolds (1994) tarafından önerilen bir tür evrimsel algoritmadır. Hesaplama modelleri, zaman içinde kazanılan deneyim ve bilgiye dayalı çeşitli etmen tabanlı teknikler aracılığıyla öğrenme sürecinin pratik kullanımını sağlayan, insanın sosyal kültürel evriminin ilkelerine dayanmaktadır. Kültürel süreç, bir arama uzayında optimal çözümü bulmada verimliliğin artmasına ve optimal global çözümü bulmayı kolaylaştırmasına izin verir. Bir optimizasyon problem modeli içindeki kültürel değişiklikler, popülasyonlar içinde ve arasında iletilen bilgileri temsil eder. KA'nın temel ilkesi, sosyal olarak kabul edilen inançları korumak ve kabul edilemez inançları ortadan kaldırmaktır.

KA, popülasyon uzayı ve inanç uzayı olarak iki ana bileşenden oluşmaktadır. Popülasyondaki her bir bireyin uygunluğu, uygunluk fonksiyonu ile belirlenmektedir. Hangi bireylerin inanç alanını etkileyeceği bir kabul fonksiyonu ile belirlenmektedir. Her nesilde, popülasyon aramasında edinilen bilgi (örneğin popülasyonun en iyi çözümü) inanç alanında tutulmaktadır (Talbi, 2009). Kabul fonksiyonu ile belirlenen bireyler, güncelle fonksiyonu ile inanç uzayını etkilemektedirler. İnanç uzayındaki bilgi, etki fonksiyonu ile gelecek neslin bireylerinin seçimini etkilemektedir. İki alan arasındaki etkileşim ve yardım, insan kültürünün evrimine benzemektedir (Reynolds ve Peng, 2004). KA'nın önemli bileşenleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



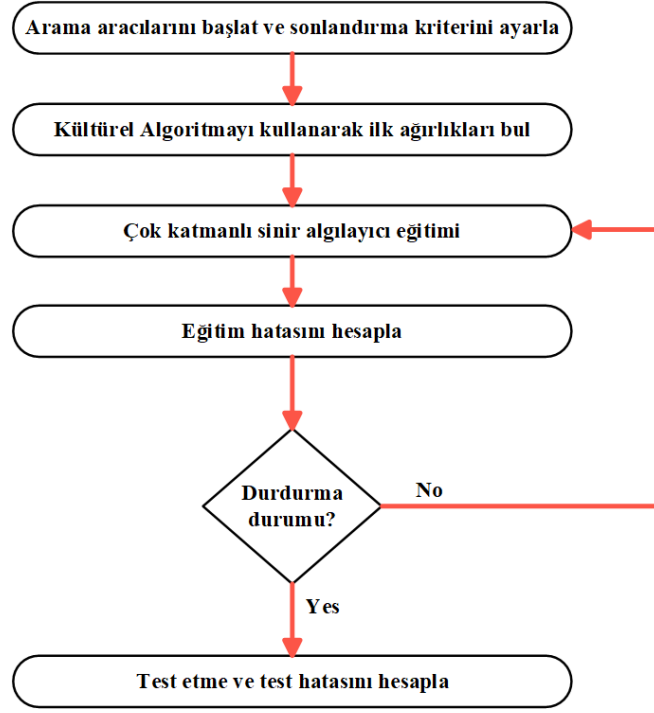
Şekil 1. Kültürel algoritmasının genel yapısı

KA, ikili bir evrimsel mekanizma kullanırken, daha düşük seviyeli popülasyonlar, periyodik olarak en üst düzey inançlara girmeye yardımcı olur. Öte yandan, yüksek düzeyde bir inanç, bu seçkin insanları alt toplulukları etkilemek için geliştirecektir (Ma ve Wang, 2009). Bu mekanizma, popülasyon çeşitliliğinin ve buna bağlı olarak yakınsama özelliklerinin iyileştirilmesiyle sonuçlanmaktadır.

Sinir Ağı Modelinin Eğitimi için Kültürel Algoritma

Bu çalışmada çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı (YSA) modeli tercih edilmiştir. Bu YSA yapısına ait ağırlık ve bias değişkenlerinin eğitimi için Kültürel Algoritma (KA) tercih edilmiştir. Çalışmada KA, çok katmanlı sinir ağının (ÇKSA) eğitimi için kullanılmakta ve bu yapı bu çalışmada YSA-KA olarak adlandırılmaktadır. Bahsedilen yaklaşım kullanılırken iki ana husus dikkate alınmalıdır: Ağırlık ve biasların KA'nın arama vektörü olarak belirtilmesi ve eğitim sırasında kullanılacak olan uygunluk fonksiyonunun seçimi.

Bir ÇKSA'nın tüm ağırlık ve biasları bir vektör olacak şekilde organize edildiğinden gösterimi basittir. Bu vektör, KA'nın arama uzayındaki her bir bireyi temsil etmektedir. Önerilen YSA-KA'nın genel adımları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Kültürel algoritmaya dayalı sinir ağlarının akış şeması

Sinir ağı modelini eğitmek için uygulanan KA yaklaşımının iş akışı aşağıdaki adımlarda açıklanabilir:

1) Başlatma: popülasyondaki arama vektörleri ve inanç uzayları eğitim için rastgele oluşturulur. Bir inanç alanındaki her arama vektörü olası bir ÇKSA katsayı ve bias değerlerini temsil eder. Çalışmada kullanılan veri seti, eğitim aşamasında ve test aşamasında kullanılmak üzere ikiye ayrılmıştır.

2) Uygunluk değerlendirmesi: popülasyon uzayındaki her bir çözümün başarısı, uygunluk fonksiyonu aracılığıyla belirlenir. Tipik olarak, sinir ağı eğitim modeline ve ilgilenilen probleme bağlı olan Ortalama Kare Hatası (OKH) gerçekleştirilmek üzere seçilir.

3) Kabul edilen popülasyonu inanç alanında güncellenir.

4) 2'den 3'e kadar olan adımlar, sonlandırılan koşul bulunana kadar tekrarlanır.

5) Elde edilen en iyi çözüm ile ÇKSA oluşturulur ve test aşamasına geçilir.

Denklem 1'de gösterildiği gibi Tüm eğitim örnekleri için Hata Karelerinin Ortalaması olan OKH, uygunluk fonksiyonu olarak işlev görür. Her gerçek (veya hedef) ÇKSA'nin ilişkili çıktı değerleri arasındaki farka bağlıdır.

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EC_o - EC_p)^2 \quad (1)$$

Burada EC_p , ÇKSA'dan üretilen kısa vadeli çıkış gücü değeridir ve EC_o , fiili kısa vadeli çıkış gücü değeridir. Çalışmada kullanılan ÇKSA-KA yapısına ait kaba kod Şekil 3'de gösterilmektedir.

<p>Adım 1: Yapay sinir ağını oluştur Ağ yapısına tanımla</p> <p>Adım 2: Sinir ağına ait parametreleri belirle Ağırlık ve biaslara ait başlangıç değerlerini ata</p> <p>Adım 3: Optimizasyon adımını başlat Başlangıç popülasyonunu oluştur KA'ya ait parametrelere başlangıç değerlerini ata Her bir birey için uygunluk değerini hesapla</p> <p>While (sonlandırma kriteri) Popülasyon uzayında uygunluk fonksiyonunu çalıştırma İnanç uzayında kabul fonksiyonunu çalıştırma Popülasyon uzayında etki fonksiyonunu çalıştırma Yeni popülasyonu oluşturma</p> <p>End while</p> <p>Adım 4: Optimum ağırlık ve bias değerleri ile sinir ağını oluşturma</p> <p>Adım 5: Yapay sinir ağından test verisini geçirme</p> <p>Adım 6: Tahmin sonuçlarını ekrana yazdırma</p>

Şekil 3. ÇKSA-KA yapısına ait kaba kod

Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması, Eberhart ve Kennedy (1995) ve Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından önerilen sürü mantığına dayalı stokastik bir optimizasyon tekniğidir. PSO algoritması, böcekler, sürüler, kuşlar ve balıklar dahil olmak üzere hayvanın sosyal davranışını modelleme üzerine geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Bu sürüler, yiyecek bulmak için işbirlikçi bir yol izlerler ve sürülerdeki her bir üye, kendi ve diğer üyelerin öğrenme deneyimlerine göre arama modelini güncelleyerek yiyeceğe ulaşmak için aramaya devam eder.

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, bir FV güç santralinde kurulu olan eviricilerden birinden bir saat aralıklarla elde edilen gerçek zamanlı veriler kullanılmıştır. Elde edilmiş olan bu veriler, iki farklı yöntemle işlenerek simülasyon çalışmaları etkin bir şekilde yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler: Çok Katmanlı Sinir Ağı – Parçacık Sürü Optimizasyonu (ÇKSA- PSO) ve Çok Katmanlı Sinir Ağı – Kültürel Algoritma (ÇKSA-KA PSO).

Çalışmada kullanılan ağın eğitimi için iki farklı optimizasyon yöntem kullanılmıştır. Optimizasyon yöntemleri ilk önce arama uzayında rastgele dağıtılmış bir popülasyonla çalışmaya başlamaktadırlar.

Arama uzayındaki her bir parçacığın başarısı, uygunluk değerini belirlemek amacı ile kullanılan bir amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Bir sonraki adımda, parçacıkların bilgileri algoritmanın yapısına göre (algoritmadaki ilgili denklemlere göre) güncellenir ve yeni bir nesil oluşturulur. Bu adımlar, sonlandırma kriterine ulaşılan kadar devam ettirilir. Eğitim tamamlandıktan sonra, en iyi parçacıktan elde edilen optimum değerler kullanılarak YSA oluşturulur ve test aşamasına geçilir. Verilerin %80'i ağı eğitimi aşamasında, %20'si ise eğitim sonunda elde edilen ağı başarısı ölçmek üzere test aşamasında kullanılmıştır.

Yapay sinir ağının eğitim ve test aşamalarında kullanılan veriler Türkiye'de 2016 yılına ait veriler kayıt altına alınmıştır. YSA kullanılarak 2017 yılının ilk 3 ayına ait veriler tahmin edilmiş ve sonuçlar gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Ağı giriş katmanı aşağıdaki şekilde beslenir:

- Ortam sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
- Güneş radyasyonu [W/m^2]
- FV Panel sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]

Yapay sinir ağı yapısının çıkış katmanı, anlık bir FV santral gücüdür.

Çalışmada kullanılan her yöntem için ağı yapısının gizli katmanında 8 nöron kullanılmaktadır. Ayrıca giriş katmanında 3 nöron, çıkış katmanında ise 1 nöron kullanılmaktadır. Firmadan alınan verilerde FV santral gücünü etkileyen 3 farklı parametre bulunmaktadır. Bu nedenle giriş katmanı 3 nöronlu kullanılmıştır. Ağda çıkış olarak yalnızca FV santral gücü tahmin edileceği için çıkış katmanı bir nöronlu belirlenmiştir. Gizli katmandaki nöron sayısı deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Farklı nöron sayıları deneyerek en uygun nöron sayısı belirlenmiştir. Ağı eğitimi sırasında eğitilen parametre sayıları:

- 24 ağırlık parametresi (Giriş ve gizli katman arası)
 - 9 bias parametresi (Gizli katman ve çıkış katmanına ait)
 - 8 ağırlık parametresi (Gizli ve çıkış katman arası)
- şeklindedir.

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) kriterine göre karşılaştırılmıştır. MAPE kriteri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right| \quad (2)$$

\hat{y}_i ve y_i gerçek sonuç ve tahmin edilen sonuçtur. N veri setindeki veri sayısıdır.

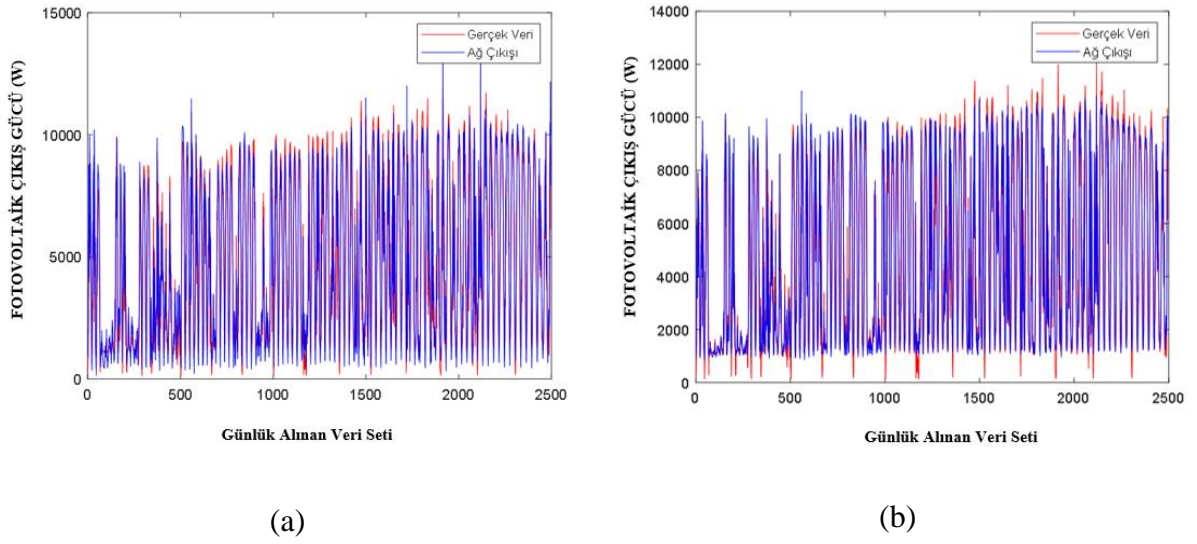
Her bir yöntem için geliştirilen programlar 20 kez çalıştırılmış ve bu çalıştırmalar sonunda elde edilen en iyi sonuçlar kullanılmıştır. Optimizasyon çalışmaları sonunda elde edilen tahmin sonuçları OMYH

kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Üç farklı yöntemden elde edilen sonuçlar OMYH değerleri ve regresyon sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Test aşaması sonuçları

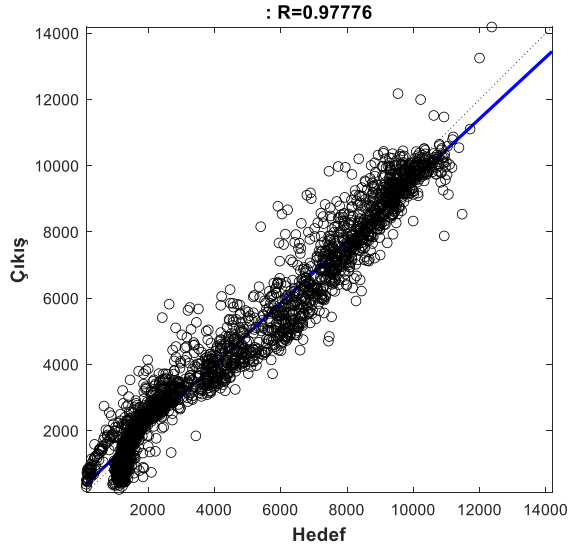
Yöntem	MAPE	Regresyon değeri
ÇKSA-PSO	22,0202	0,97776
ÇKSA-KA	17,1937	0,98533

Tablo 1'de görüldüğü ÇKSA-KA'dan elde edilen sonuç daha başarılıdır. ÇKSA-KA ile elde edilen gerçek zamanlı sonuçlar ve test sonuçları Şekil 4'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

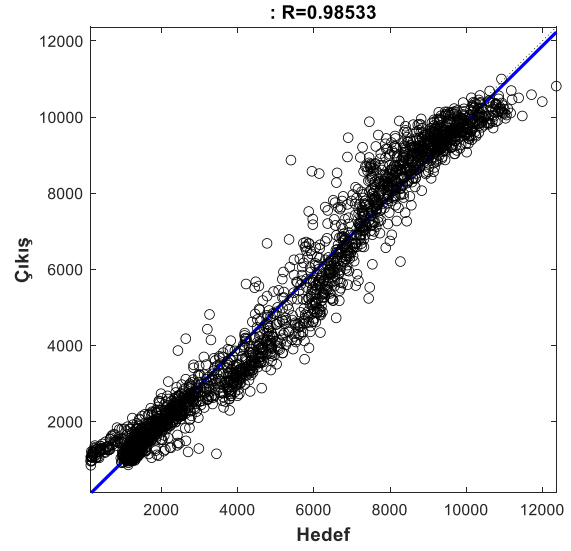


Şekil 4. Tahmin işlemi sonucu elde edilen veriler ile gerçek verilerin karşılaştırılması (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Test aşaması sonunda elde edilen regresyon grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'te gösterilen regresyon grafiklerinde istenilen sonuç ile ÇKSA-PSO ve ÇKSA-KA yöntemleri ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafikleri verilmiştir. Bu grafikler ve regresyon değerleri göz önünde bulundurulduğunda, ÇKSA-KA yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar ile istenen sonuçların birbirleri ile da ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.



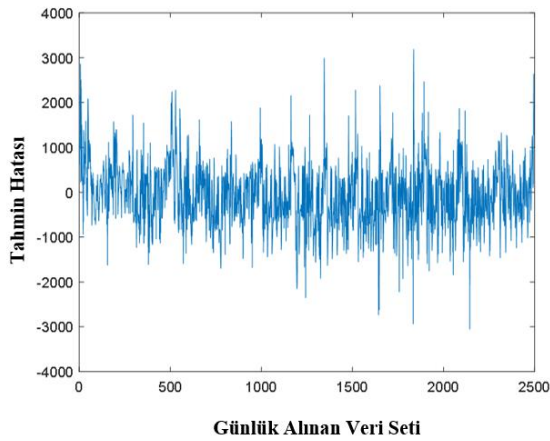
(a)



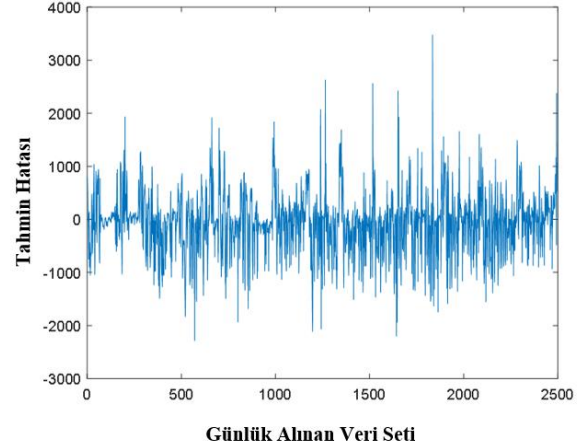
(b)

Şekil 5. Tahmin işlemi sonucu elde edilen regresyon grafikleri (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Şekil 6, iki farklı optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen tahmin sonuçlarına ait hata grafiklerini göstermektedir.



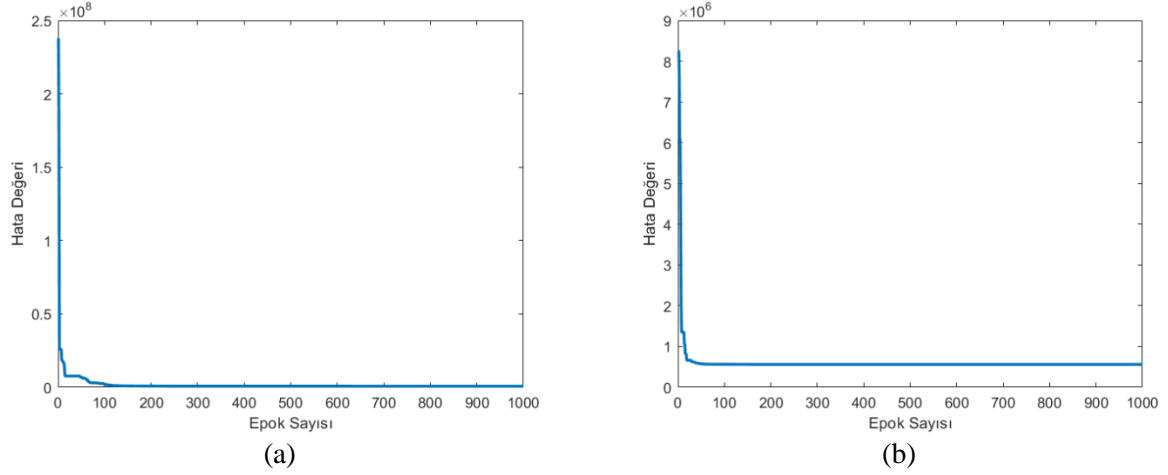
(a)



(b)

Şekil 6. Tahmin işlemi sonucu elde edilen hata grafikleri (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Test aşaması sonunda elde edilen grafiksel sonuçlar Şekil 4-6 da verilmiştir. Veri dağılımlarını içeren sonuçlar incelendiğinde ÇKSA-KA'dan elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Yine Tablo 1'de verilen sayısal sonuçlar incelendiğinde, FV güç tahmini için ÇKSA-KA yönteminden daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.



Şekil 7. Eğitim aşaması sırasında elde edilen hata değişim grafikleri (a) ÇKSA-PSO yöntemi ile (b) ÇKSA-KA yöntemi ile

Çok katmanlı sinir ağının farklı sezgisel yöntemler ile eğitimi sırasında elde edilen hata değişim grafikleri Şekil 7’de gösterilmiştir.

Sonuç

Güneş enerjisi potansiyelinin dünyada yüksek olması nedeniyle güneş FV santralleri kurulumu günden güne artmaktadır. FV santrallerin kurulumu yaygınlaşsa da, bu santrallerin en büyük dezavantajı FV enerji santralının çıkış gücünün kararsız olmasıdır. FV güç santrali şebeke tarafına bağlı olduğundan, dengesiz güç akışı tüm sistem kontrollerini etkiler. Bu nedenle gücün kısa vadeli tahmini ile sistemde meydana gelebilecek ani güç dalgalanmalarına karşı önlem alınması da önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye'deki bir güneş FV enerjisi santralinden elde edilen gerçek zamanlı veriler kullanılarak kısa vadeli FV santral çıkış gücü tahmini yapılmıştır. Geleceğe yönelik tahminler için ÇKSA-PSO ve ÇKSA-KA yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen matematiksel ve grafiksel sonuçlar incelendiğinde, ÇKSA-KA yönteminin performansının üç aylık ileri tahmin için daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Abedinia O., Amjady N., Ghadimi N. Solar energy forecasting based on hybrid neural network and improved metaheuristic algorithm. Computational Intelligence 2018; 34: 241-260.

- AlHakeem D., Mandal P., Haque AU., Yona A., Senjyu T., Tseng TL. A new strategy to quantify uncertainties of wavelet-GRNN-PSO based solar PV power forecasts using bootstrap confidence intervals. 2015 IEEE Power Energy Society General Meeting 2015; 1–5.
- Almonacid F., Pérez-Higueras PJ., Fernández EF., Hontoria L. A methodology based on dynamic artificial neural network for short-term forecasting of the power output of a PV generator. *Energy Conversion and Management* 2014; 85: 389–398.
- Barrera JM., Reina A., Maté A., Trujillo JC. Solar energy prediction model based on artificial neural networks and open data. *Sustainability* 2020; 12: 6915.
- Cervone G., Clemente-Harding L., Alessandrini S., Delle Monache L. Short-term photovoltaic power forecasting using artificial neural networks and an analog ensemble. *Renewable Energy* 2017; 108: 274–286.
- Eberhart R., Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory. MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, IEEE; 1995; 39–43.
- Hazem Mohammed O., Amirat Y., Benbouzid M. Economical evaluation and optimal energy management of a stand-alone hybrid energy system handling in genetic algorithm strategies. *Electronics* 2018; 7: 233.
- Jang HS., Bae KY., Park HS., Sung DK. Solar power prediction based on satellite images and support vector machine. *IEEE Trans Sustain Energy* 2016; 7: 1255–1263.
- Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks, IEEE; 1995; 4: 1942–1948.
- Li Z., Rahman SM., Vega R., Dong B. A hierarchical approach using machine learning methods in solar photovoltaic energy production forecasting. *Energies* 2016; 9: 55.
- Ma H., Wang Y. Cultural algorithm based on particle swarm optimization for function optimization. Fifth International Conference on Natural Computation, 14-16 August 2009, pp:224-228, Tianjian, Çin.
- Martin R., Aler R., Valls JM., Galvan IM. Machine learning techniques for daily solar energy prediction and interpolation using numerical weather models: Machine learning techniques for daily solar energy prediction and interpolation using numerical weather models. *Concurrency Computat: Pract Exper* 2016; 28: 1261–1274.
- Mishra M., Byomakesha Dash P., Nayak J., Naik B., Kumar Swain S. Deep learning and wavelet transform integrated approach for short-term solar PV power prediction. *Measurement* 2020; 166: 108250.
- Reynolds RG. An introduction to cultural algorithms. In Proceedings of the third annual conference on evolutionary programming, River Edge, NJ: World Scientific 1994; 24: 131-139.
- Reynolds RG., Peng B. Cultural algorithms: modeling of how cultures learn to solve problems. 16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 15-17 Kasım 2004, sayfa no:166–172, Boca Raton, FL, USA.

- Saberian A., Hizam H., Radzi MAM., Ab Kadir MZA., Mirzaei M. Modelling and prediction of photovoltaic power output using artificial neural networks. *International Journal of Photoenergy* 2014; 2014: 1–10.
- Shuang H., Qiao YH., Yan J., Liu Y., Li L., Wangb Z. Mid-to-long term wind and photovoltaic power generation prediction based on copula function and long short term memory network. *Applied Energy* 2019; 239(1): 181-191.
- Talbi E. Population-based metaheuristics, Metaheuristics from Des. to implementation. John Wiley Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2009; 190–200.
- Theocharides S., Makrides G., Livera A., Theristis M., Kaimakis P., Georghiou GE. Day-ahead photovoltaic power production forecasting methodology based on machine learning and statistical post-processing. *Applied Energy* 2020; 268: 115023.
- VanDeventer W., Jamei E., Thirunavukkarasu GS., Seyedmahmoudian M., Soon TK., Horan B., Saad M., Alex S. Short-term PV power forecasting using hybrid GASVM technique. *Renewable Energy* 2019; 140: 367–379.
- Zeng J., Qiao W. Short-term solar power prediction using a support vector machine. *Renewable Energy* 2013; 52: 118–127.

Determining the *In Situ* Ruminant Degradability of Some Nutrients of Wheat Straw Using Some White Rot Fungi Species

Fatma YÜKSEL^{1*}, Adem KAYA²

^{1,2} Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 25000, ERZURUM

¹<https://orcid.org/0000-0002-2114-1940>

²<https://orcid.org/0000-0002-7726-6865>

*Corresponding author: f.aktas7555@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 23.08.2021

Accepted: 10.02.2022

Published online:08.03.2022

Keywords:

Wheat straw,
Holstein bulls,
Phanerochaete chrysosporium,
Pleurotus eryngii,
Fungal inoculants,
In-situ degradability

ABSTRACT

The *Phanerochaete chrysosporium* (PC) and *Pleurotus eryngii* (PE) were observed for their potential to increase the *in situ* dry matter (DM) and crude protein (CP) degradability of wheat straw. The wheat straw samples were inoculated with the PC and PE fungi (10% weight/volum) and incubated under solid state fermentation conditions at 30 °C for 30 days to determine their *in-situ* degradability and chemical composition. *In situ* ruminant degradability was determined by using four ruminant cannulated Holstein bulls (approximately 400 kg BW) fed on a diet a concentrate-to-roughage ratio of 45:55 (dry matter (DM) basis). The samples were incubated in nylon bags for 0, 4, 8, 16, 24, 48, 72 and 96 h in the rumen. The results showed that increased *in situ* ruminant degradation of DM and CP in PC and PE groups in comparison to the control group ($P < 0.01$). The wheat straw incubated with PC had the greatest *in situ* DM degradability after incubation for 24 h ($P < 0.01$). The inoculation of PC and PE increased *in situ* ruminant crude protein (CP) degradation ($P < 0.01$) in comparison to the other treatments. As a result, the fungal inoculants and urea treatment increased the degradability of DM and CP in wheat straw.

Siyah Alacalarda Beyaz Çürükçül Funguslar Kullanılarak Buğday Samanın *In-Situ* Parçalanabilirliğinin Belirlenmesi

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.08.2021

Kabul tarihi:10.02.2022

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Buğday samanı,
Siyah Alaca
Phanerochaete chrysosporium,
Pleurotus eryngii,
Fungal inokulasyon
In-situ sindirilebilirlik

Bu çalışmada, *Phanerochaete chrysosporium* (PC) ve *Pleurotus eryngii* (PE) mantar türlerinin, buğday samanının *in-situ* parçalanabilirliği sonucunda kuru madde (KM) ve ham protein (HP) değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buğday samanı örnekleri, PC ve PE fungus türleri ile (%10 ağırlık/hacim) ile inokule edilip, *in-situ* parçalanabilirlikleri ve kimyasal bileşimleri belirlenmek üzere katı hal fermentasyon koşulları altında 30 °C'de 30 gün inkübe edilmiştir. Kanül takılı 4 baş Siyah Alaca boğa (yaklaşık 400 kg canlı ağırlığa sahip) 45:55 oranında (KM esasına dayalı) konsantre / kaba yem ile beslenmiştir. Yem örnekleri rumende naylon torbalarda 0, 4, 8, 16, 24, 48, 72 ve 96 saat süreyle inkübe edilmiştir. Sonuçlar, PC ve PE'nin inokulasyonunun, kontrol grubuna göre KM ve HP'nin *in-situ* ruminant parçalanabilirliğini yükselttiğini göstermiştir ($P < 0.01$). PC ile inkübe edilen buğday samanı, 24 saat inkübasyondan sonra en yüksek *in-situ* KM parçalanabilirliğine sahip olmuştur ($P < 0.01$). PC ve PE'nin inokulasyonu, diğer muamelelere göre *in-situ* rumen ham protein (HP) parçalanabilirliğini ($P < 0.01$) artırmıştır. Sonuç olarak, fungus inokulasyonu ve üre muamelesinin, buğday samanındaki KM ve HP'ın parçalanabilirliğini yükselttiği gözlemlenmiştir.

To Cite: Yüksel F., Kaya A. Determining the *In Situ* Ruminant Degradability of Some Nutrients of Wheat Straw Using Some White Rot Fungi Species. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):355-371.

Introduction

In the world, factors such as climatic changes, rapid urbanization and socio-economic imbalances etc narrow the production areas of quality roughage and thus decrease quality roughage production. Therefore, it occurs significant nutritional problems and considerable yield losses in livestock. Improving some alternative methods to eliminate or minimize of these losses present great importance. For this aim, it is among methods the first to mind come to utilize from some food by-products having roughage characteristic. One of these by-products is wheat straw. Wheat straw, as the most abundant agricultural by-product in Turkey, is a promising alternative type of roughage variety in ruminant feeding. Although, there are some features that limit use profit of it (Jalc et al., 1997), agricultural and food industry wastes constitute a large part of the agricultural production in the world such as 30% approximately (Gültepe and Bayram, 2019).

The major limitation of using wheat straw as a feed for ruminants low rumen degradability and low energy value (Demeyer et al., 1988; Chegeni et al., 2013) due to its high lignin content (Zadrazil and Uniya, 1995). Because, cellulose and hemicellulose are hardly degraded by the rumen microorganisms (Okano et al., 2005; Turgut, 2008). To improve the disposability of wheat straw, different physical, chemical, and biological treatments were used (Brand et al., 1991; Kalkan, 2008; Turgut, 2008). The physical methods have little effect on the digestibility of this by-product (Sundstøl and Owen, 1984; Turgut, 2008). Some chemical treatments (urea, urea plus $\text{Ca}(\text{OH})_2$, urea plus SO_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and NaOH plus $\text{Ca}(\text{OH})_2, \text{SO}_2$) greatly improve the digestibility (Fahmy and Klopfenstein, 1994), but the application of these chemicals have poses also a high risk to the environment (Tuyen, 2012). Thus, biological methods that are believed to be more effective and more beneficial, have been earned importance recently. Because, biological methods are capable of degrading the lignocellulosic bonds and increasing the profitable of nutrients; thus, these methods can provide an economicaly and environmentally friendly alternative for chemical methods (Rahman et al., 2011). It was reported applying white rot fungi is quite effective biological method for delignification due to the fungi's a lot of characteristic (Reid, 1989; Eriksson et al., 1990). *Phanerochaete chrysosporium* is the model white rot fungus because of its specialized ability to degrade the abundant aromatic polymer lignin. *P. chrysosporium* releases extracellular enzymes to break up the complex three dimensional structure of lignin into components that can be utilized by its metabolism. The extracellular enzymes are nonspecific oxidizing agents (hydrogen peroxide, hydroxyl radicals) used to cleave the lignin bonds (Burdshall et al., 1974). *Pleurotus eryngii* belong to genus *Pleurotus* and are the largest species in oyster mushroom genus. Also white-rot fungicontaining this specie is reported to be able to secrete ligninolytic enzymes (lignin peroxidase (LiP), manganese peroxidase (MnP) and laccase) that are associated with ligninolytic activities (Hadibarata et al., 2012).

Little information is available on the interactions between *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleurotus eryngii* in wheat straw, especially in terms of *in situ* ruminal degradability. The objective of

our study is to investigate the effect of treatment of wheat straw with *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleurotus eryngii* fungi species on cellulose and hemicellulose degradability.

Material and Method

The animal material and *in situ* process

This study was conducted at the Eastern Anatolian Agricultural Research Institute in Erzurum, Turkey. The experiment process that approved by the Atatürk University Animal Experiments Local Ethics Committee, had conducted with decision and this decision procedures were followed throughout the experiment. Four head cannulated Holstein bulls that are 20-month-old (average 400 kg BW) were used 4 weeks after the cannulation surgery. It was applied two week adaptation period before the study started. The feed ingredients and the chemical composition are showed in Table 1. *In situ* rumen degradation of feed and fibre components was evaluated using the nylon bag technique (Susmel et al., 1990). The samples were incubated in nylon bags for 0, 4, 8, 16, 24, 48, 72 and 96 h in the rumen.

Preparation of feed mixtures and feeding

The mixtures were prepared in the form of combinations reported below and each mixture was tested in two repeat in each animal. I. Wheat Straw (control), (WS); II. Wheat Straw + based on dry matter %1 Urea, (WSU); III. Wheat Straw + %1Urea + fungi, *Pleurotus eryngii* (WSUPE); IV. Wheat Straw + %1Urea+ fungi, *Phanerochaete chrysosporium* (WSUPC); V. Wheat Straw + fungi, *Pleurotus eryngii*, (WSPE); VI. Wheat Straw + fungi, *Phanerochaete chrysosporium*, (WSPC). The cannulated animals fed in individual paddocks were fed with 55/45 roughage / concentrate in accordance with the declarations of NRC (NRC, 1985) and clean water was kept in front of the animals.

Microorganism, chemical and fungal inoculant preparation

In this study two fungi varieties and urea were used. *Phanerochaete chrysosporium* (NRRL 6370) was obtained from the ARS Culture Collection, USDA, USA. *Pleurotus eryngii* was purchased from a commercial company and reproduced in the laboratory of Biology Department of the Faculty of Science of Atatürk University. In feed mixture groups, it was used 1% ratio from granular urea obtained by heating ammonium carbonate to 150-200 °C. The dried wheat straw was weighed to 750 g at autoclave resistant plastic bags. In order to have a moisture content of 60% was added distilled water to the straw sachets before from biological degradation. Moisture content of urea added straw samples was provided by adding dissolving in water of urea. Then the bags were closed and sterilized at 121 °C, 1 atm pressure for 15 minutes. To sterile straws prepare to solid state fermentation were inoculated solution at a rate of 10% (w / v) and achieved under aseptic conditions homogeneity. Then the straw samples were allowed to incubation in the incubator at 30 °C for 30 days.

Chemical component analysis

The DM content was measured by drying samples in an electrical oven at 105°C for 2 h (AOAC, 1990). The ash content was measured by burning the samples in a electrical furnace at 550 °C for 4 h (AOAC, 1990). Nitrogen (by Kjeldalh metod) and ether extract (by Soxhleth device) were measured according to AOAC (AOAC, 1990). Acid detergent fibre (ADF), neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent lignin (ADL) were measured according to the procedure recommended by Van Soest et al. (1991). The hemicellulose content was estimated by the difference between NDF and ADF, and the cellulose content was calculated based on the difference between ADF and ADL. The hemicellulose content was estimated by the difference between NDF and ADF, and the cellulose content was calculated based on the difference between ADF and ADL. The OM was measured as the difference between DM and the ash content. The component degradation ratio was calculated on the basis of the total component weight loss after pretreatment (Ma et al., 2011). Using 48 hours dry matter degradability values of roughages, metabolic energy values were determined by using the regression equation (ME, (Mj/kg DM) = 2.27563+0.1073 * KMP) developed at Rowett Research Institute (Karabulut and Canbolat, 2005).

Chemical analysis of feeds

Table 1. Chemical composition of feed ingredients used in the study

Feeds	Components (%)					
	DM	CP	CA	ADF	NDF	ME (Kcal/kg)
Concentrate	88.2	16.0	7.1	-	-	2500
Dry meadow grass	88.1	10.7	8.5	39.0	64.3	2100
Dry clover	88.7	19.1	8.5	31.0	40.0	2100
Wheat straw	91.6	3.81	7.8	49.4	73.0	1480

DM: dry matter. CP: crude protein. CA: crude ash. ADF: acid detercent fiber. NDF: Neutral detergent fiber. ME: metabolic energy

Formulations for degradability ratios

DM and CP degradability after incubation was calculated according to the following formulas (Susmel et al., 1990).

$$\text{DM (degradability \%)} = \frac{[(W1-W4) * \text{DM}\%] - (W3-W2) * 100}{(W1-W4)*\text{DM}\%} * 100 \quad (1)$$

W1=sample weight. W2=weight of empty bag in desiccator. W3=dried weight of bags taken from rumen at 70 degrees for 24 hours. W4= weight of sample evacuated bag outside 24 hours

$$\text{CP (degradability \%)} = \frac{(Y1-Y2)}{Y1} * 100 \quad (2)$$

Y1= amount of crude protein before incubation. Y2= amount of crude protein after incubation

Variables of *in situ* degradation rapidity of feed samples were estimated according to the following model (Ørskov and McDonald 1979; McDonald, 1981; Susmel et al., 1990; Ribeiro, 1994).

$$\text{Model D.\%} = a + b \times [1 - \exp(-ct)] \quad (3)$$

where D = degraded proportion at time t; a = the fraction that immediately disappears from the bag; b = N loss due to microbial activity in rumen; c = constant rate of degradation of fraction b (h⁻¹); and t = incubation time (h).

The effective degradability (ED) was calculated using the following equation:

$$\text{Effective D} = a + b[bc/(c+k)] (1 - e^{-(c+k)t}) \quad (4)$$

where a: fast dissolution and degradation in rumen for nutrients. b: potential degradability value that requires a certain time to dissolve and degrade. c: from rumen passage rate that is assumed as 0.02/h. t is degradation time. k is flow rate from rumen.

The chemical composition components such as DM, CP, CA, NDF, ADF, ADL, OM, cellulose, hemicellulose and the ruminal parameters such as a, b, c and k were analysed using analysis of variance (ANOVA). Between treatment and incubation time had on the *in situ* degradability parameters were analysed using the univariate tests that are part of general linear model analysis. In this process, the following mathematical model was applied.

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij} + e_{ijk}$$

Where. μ : mean of the sample. a_i : the effect of treatment. b_j : the effect of incubation times. e_{ijk} : error. The statistical analyses were performed with the statistical software package SPSS 20.0 (SPSS, 2010).

Results

Changes in chemical composition

The chemical analysis of the feed mixtures are given in Table 2. All of the fungal treatments (except WSPC) and urea treatment reduced the DM, OM, hemicellulose, cellulose, NDF, ADF and ADL content of the wheat straw after 30 days of fermentation ($P < 0.01$). On the other hand, it was higher CP and crude fat according to the control.

The wheat straw incubated with *Pleurotus eryngii* + urea had the lowest DM, OM, NDF, ADL and hemicellulose content ($P < 0.01$), but the highest CP, cellulose and ash content ($P < 0.01$) in comparison to the other treatments. The wheat straw incubated with *Pleurotus eryngii* + urea had the lowest DM, OM, NDF, ADL and hemicellulose content ($P < 0.05$), but the highest for CP, cellulose and CA content ($P < 0.05$) in comparison to the other treatments. The DM and OM contents in the wheat straw inoculated with *Phanerochaete chrysosporium* fungi were higher than WS treatment ($P < 0.01$), were similar in point of hemicellulose and crude ash (Table 2).

Table 2. Chemical composition of wheat straw incubated with the *Phanerochaete chrysosporium*. *Pleurotus eryngii* Fungus. urea for 30 days (%)

Feed Mixture Groups	Variables (%) ($\bar{X} \pm S\bar{x}$)									
	DM	OM	CP	EE	HC	ADF	NDF	ADL	C	CA
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
WSPC	92.67 ^a	85.32 ^a	10.31 ^c	3.50 ^b	27.03 ^a	33.50 ^c	60.53 ^c	7.92 ^{bc}	25.57 ^{bc}	7.34 ^{bc}
WSUPC	89.00 ^c	81.95 ^c	11.80 ^b	4.76 ^a	25.79 ^a	31.38 ^d	57.17 ^d	9.43 ^b	24.55 ^c	7.04 ^c
WSPE	89.63 ^c	80.60 ^c	8.86 ^d	2.58 ^{cd}	20.04 ^b	34.69 ^c	54.74 ^e	7.25 ^c	27.44 ^b	9.02 ^a
WSUPE	87.43 ^d	78.36 ^d	16.66 ^a	2.87 ^c	15.90 ^c	38.66 ^b	54.57 ^e	6.63 ^c	32.03 ^a	9.07 ^a
WSU	88.93 ^c	81.13 ^c	10.93 ^{bc}	2.19 ^d	25.51 ^a	41.98 ^a	67.49 ^b	11.31 ^a	30.66 ^a	7.80 ^{bc}
WS (control)	91.61 ^b	83.62 ^b	3.81 ^e	2.11 ^d	27.03 ^a	42.77 ^a	70.94 ^a	11.71 ^a	31.06 ^a	7.99 ^b
SEM	±0.29	±0.456	±0.40	±0.18	±0.86	±0.53	±0.56	±0.52	± 0.83	±0.26

DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; EE: ether extract; HC: hemicellulose; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber. ADL: acid detergent lignin. C: cellulose; CA: crude ash; WSPC: wheat straw + *Phanerochaete chrysosporium*; WSUPC: wheat straw + urea + *Phanerochaete chrysosporium*; WSPE: wheat straw + *Pleurotus eryngii*; WSUPE: wheat straw + urea + *Pleurotus eryngii*; WSU: wheat straw + urea; WS: wheat straw; SEM: standard error of the mean. **: P<0.01; a-e: means in the same column with different letters differ

***In situ* degradability**

In the study *in situ* DM and crude protein degradation values (%) determined according to feed mixture groups and at different rumen incubation times are given in Table 3. Differences were found among the different treatments and incubation times for *in situ* degradation of DM; differences in the degradation of this component was observed significant ($P < 0.01$). The *Pleurotus eryngii* + wheat straw (WSPE) treatment had the highest DM degradability after 0 h and 4 h than other mixture groups. Wheat straw + *Pleurotus eryngii* (WSPE). Wheat straw + *Phanerochaete chrysosporium* (WSPC) and wheat straw + urea + *Phanerochaete chrysosporium* (WSUPC) mixture groups was found similar *in-situ* DM degradation after 8 h and 16 h, and these groups were higher than the other groups, including the control group ($P < 0.01$). In incubations after 24 hours was seen a certain degree effect superiority of PC adding mixtures. The *in situ* ruminal degradation of DM was higher in the WSPC and WSUPC mixtures than other all groups after 24 h, and a similar result was observed in the results after 72 h ($P < 0.01$). The WSUPE, WSPC and WSUPC treatments had the highest DM degradability after 48 h and 96 h.

Feed mixture groups affected CP disappearances as a function of incubation time and differences for CP disappearance between treatments groups at all rumen incubation times were observed ($P < 0.01$, table 3). The highest degradation rate of wheat straw was observed with the WSPE, which achieved a 9.61%, 17.62% respectively loss of crude protein after 0 h and 4 h incubation. In the losses of crude protein observed after 0 h. WSUPE with WSUPC, and WSPC with WSU were similar, and the lowest degradation rate was achieved with the WS. The four feed mixtures (WSUPE, WSUPC, WSPE, WSPC), to degradation of crude protein showed the highest proportionate loss after incubation 8 h. The other two feed mixtures (WS, WSU) showed the lowest proportionate loss in crude protein prodegradability. The WSPE and WSUPC treatments had the highest CP ruminal degradation after 16 h ($P < 0.01$). The *in-situ* ruminal degradation of CP was higher ($P < 0.01$) in the WSUPC mixture than other all groups after 24 h, and was similar ($P > 0.05$) one another WSUPE, WSPE and WSPC. On the other hand, observed the lowest degradation value in WS group. Including different fungus and urea the four feed mixtures (WSUPE, WSUPC, WSPE, WSPC), for crude protein showed the highest degradation after incubation 48 h. The WSUPE feed mixture showed peak crude protein degradation in ruminal incubation after 72 h and 96 h (80.32%, 90.82 % respectively), which were higher ($P < 0.01$) than the corresponding findings for the *P. chrysosporium* + urea treatment and other groups.

Table 3. Effect of mushroom inoculation and urea treatment on dry matter and crude protein rumen degradability at the end of the incubation times.

Feed Mixture Groups	Incubation times (hour)															
	0		4		8		16		24		48		72		96	
	DM	CP	DM	CP	DM	CP	DM	CP	DM	CP	DM	CP	DM	CP	DM	CP
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
WSPE	11.22 ^a	9.61 ^a	18.46 ^a	17.62 ^a	26.23 ^a	24.62 ^a	34.42 ^a	35.60 ^a	41.02 ^c	43.79 ^b	57.71 ^b	65.21 ^a	70.59 ^b	75.41 ^c	76.44 ^{ab}	84.31 ^c
WSUPE	9.69 ^b	8.63 ^b	15.91 ^b	14.88 ^{bc}	24.31 ^{ab}	25.53 ^a	33.62 ^a	33.86 ^b	42.68 ^{bc}	44.37 ^b	62.35 ^a	66.47 ^a	70.71 ^b	80.32 ^a	79.24 ^a	90.82 ^a
WSPC	7.99 ^c	6.72 ^c	15.32 ^b	13.86 ^{cd}	26.13 ^a	24.77 ^a	34.30 ^a	32.85 ^b	46.32 ^a	44.19 ^b	63.25 ^a	65.11 ^a	72.61 ^a	75.33 ^c	77.45 ^a	82.86 ^c
WSUPC	8.29 ^c	8.70 ^b	15.83 ^b	15.36 ^b	25.82 ^a	25.54 ^a	33.90 ^a	35.78 ^a	44.54 ^{ab}	45.96 ^a	62.22 ^a	65.58 ^a	72.43 ^a	78.49 ^b	78.67 ^a	88.11 ^b
WSU	8.62 ^{bc}	7.54 ^c	14.51 ^{bc}	13.23 ^d	22.91 ^b	22.33 ^b	30.35 ^b	29.70 ^c	38.34 ^d	38.56 ^c	54.24 ^c	55.67 ^b	67.59 ^c	69.37 ^d	74.10 ^{bc}	76.09 ^d
WS (c)	7.62 ^c	5.44 ^d	12.99 ^c	9.46 ^e	19.76 ^c	15.46 ^c	26.86 ^c	24.80 ^d	34.01 ^e	32.55 ^d	49.64 ^d	50.16 ^c	62.41 ^d	63.38 ^e	71.80 ^c	71.85 ^e
SEM	±0.39	±0.29	±0.64	±0.44	±0.79	±0.56	±0.58	±0.59	±0.76	±0.50	±0.76	±0.85	±0.57	±0.59	±0.97	±0.71

DM: dry matter; CP: crude protein; WSPC: wheat straw + *Phanerochaete chrysosporium*; WSUPC: wheat straw + urea + *Phanerochaete chrysosporium*; WSPE: wheat straw + *Pleurotus eryngii*; WSUPE: wheat straw + urea + *Pleurotus eryngii*; WSU: wheat straw + urea; WS: wheat straw; c: control; SEM: standard error of the mean. **: P<0.01; a-e: means in the same column with different letters differ

***In situ* degradability parameters**

Statistically analysis of *in-situ* degradation parameters for DM and CP in the study is presented in Table 4. Differences were found significant ($P < 0.01$) among the different treatments "a" parameter for DM. The "a" parameter was higher in WSPE group than other feed mixture groups and other groups were similar one another statistically. Not significant differences were observed the 'b' fraction for DM in the different treatments (Table 4). Rumen passage rate of DM fraction 'c' varied among feed mixtures groups, and the 'c' value for DM in WSPC was higher ($P < 0.01$) than other groups (Table 4). The lowest passage rate value DM fraction was obtained from WS (control) group. Significant differences were observed among the treatment groups in terms of the 'k' fraction. WSUPE, WSPC, WSUPC feed mixture groups were the highest DM fraction 'k' parameter value. Differences were found among the different treatments for *in-situ* ruminal degradation of CP; the differences in the ruminal degradation of those parameters were similar partially with findings of DM in terms of interaction among groups. The *in situ* ruminal degradation of 'a' fraction for CP was higher in WSPE group than other feed mixture groups. As to the 'b' fraction was the highest in the WSUPE group. Results of the study revealed that in feed mixture groups, uninoculed and inoculed wheat straw have rumen passage rate fraction (c) 0.01 to 0.02 for CP degradability. WSPE, WSPC, WSUPC and WSU groups were similar statistically and had the highest 'c' fraction value. There was significant difference among other groups of treatments with these groups ($P < 0.01$). The "k" fraction was the highest in WSUPE group for CP degradability.

Table 4. Effect of mushroom inoculation and urea treatment on dry matter and crude protein degradability parameters at the end of the incubation times.

Feed Mixture Groups	Degradability parameters							
	a (%)		b (%)		c (1/h)		k 0.05/h	
	DM	CP	DM	CP	DM	CP	DM	CP
	**	**	ns	**	**	**	**	**
WSPE	12.66 ^a	10.37 ^a	75.08	83.59 ^{bc}	0.021 ^{ab}	0.02 ^a	63.15 ^b	63.68 ^c
WSUPE	9.82 ^b	9.25 ^{ab}	77.25	97.25 ^a	0.024 ^{ab}	0.01 ^b	63.31 ^a	64.0 ^a
WSPC	8.19 ^b	7.15 ^c	73.51	83.25 ^{bc}	0.030 ^a	0.02 ^a	63.40 ^a	63.62 ^c
WSUPC	9.07 ^b	9.33 ^{ab}	75.24	88.75 ^b	0.026 ^{ab}	0.02 ^a	63.37 ^a	63.96 ^b
WSU	9.60 ^b	8.34 ^b	77.02	81.69 ^c	0.020 ^{ab}	0.02 ^a	62.98 ^c	63.08 ^d
WS (c)	7.80 ^b	5.06 ^d	82.10	85.55 ^{bc}	0.015 ^b	0.01 ^b	62.86 ^c	62.87 ^c
SEM	±3.65	±0.37	±2.31	±2.01	±0.001	±0.001	±0.047	±0.034

a: fast dissolution and degradation in rumen for nutrients. b: potential degradability value that requires a certain time to dissolve and degrade. c: from rumen passage rate that is assumed as 0.02/h. t is degradation time. k is flow rate from rumen. DM: dry matter; CP: crude protein; WSPC: wheat straw + *Phanerochaete chrysosporium*; WSUPC: wheat straw + urea + *Phanerochaete chrysosporium*; WSPE: wheat straw + *Pleurotus eryngii*; WSUPE: wheat straw + urea + *Pleurotus eryngii*; WSU: wheat straw + urea; WS: wheat straw; c: control; SEM: standard error of the mean. **: P<0.01; ns: no significant; a-e: means in the same column with different letters differ

Discussion

In the present study, the WSPC treatment had a higher value in terms of DM content after 30 d incubation than the other treatment groups. It was determined which was in agreement with the founding of those Karimi et al. (2014) (untreated rice straw), Shrivastava et al., (2011), Denek and Deniz (2004). But it was indicated more high findings by Kutlu et al., (2000) and more low findings (maize stalk) by Tao et al., (2016). The high ratio of DM in WSPC treatment group can probably explained by the fact that some fungus behave according to the acidic, alkaline or neutral environment of the environment and may affect the water retention and weight losses of the material they are inoculated (Talaie et al., 2013). Thus, they react to heat treatment differently. Because of these properties, they are thought to maintain the bound moisture of the material in which they are inoculated and thus prevent weight loss (Talaie et al., 2013). In the present study in chemical analysis, dry matter content of urea added mixtures (WSUPC, WSUPE) was showed lower than the form (WSPC, WSPE) without urea of the same mixture group. This situation was thought to be caused the fungi to increase of nutrient losses in urea added environment. Thus, it was reported that the loss of dry matter in fungal processes results from increase of consumption of carbohydrates by the fungi (Shrivastava et al., 2011; Chaturvedi and Verme 2013; Sharma and Arora 2013).

The WSUPE group had the highest crude protein content among the feed mixture groups. This result determined in the present study had a higher value than from results reported by Jalc et al., (1997), Karimi et al., (2014) and Kutlu et al., (2000) which carried out urea molasses treated rice straw. Fungal inoculation had been reported to increase protein content (Zadrazil and Uniya, 1995). However, it is possible to encounter different results. Crude protein content was higher in fungal and urea added mixtures (WSPC, WSUPC, WSPE, WSU) than control group. This result agreed with finding reported by Jalc et al., (1997).

In this present study, the hemicellulose, ADF, NDF, ADL and cellulose content of the WSU and WS treatment groups had peaks generally (except WSU for NDF, inclusive WSUPE for cellulose). Yao and Nokes (2014) and Singh et al., (2011) investigated wheat straw treated with *P. chrysosporium* and showed a significant drop in this cell wall components comparison to the untreated straw after incubation. The levels of ADF in the all mixture feed groups were also lower in comparison to results reported by Jalc et al., (1997) and Adamovic et al., (1998). On the other hand, the NDF (Jalc et al., 1997) and cellulose (Adamovic et al., 1998) values of the mixture groups obtained by inoculating the fungi to straw found lower from results of different studies. Similar effects on the hemicellulose value of wheat straw were presented by (Adamovic et al., 1998). Fungal treatment significantly reduced the concentration of the cellwall components (NDF, hemicellulose) using the fungi PE and (ADF, cellulose) using the fungi PC.

The results with respect to in initial incubation times (until 16 h) dry matter degradability in rumen showed that without urea treatment. PE fungi inoculation had significant effects on initial dry matter degradability. Urea adding treatment increased partially initial dry matter degradability in this

incubation times. Although PC fungi inoculation did not affect in high ratio dry matter degradability in urea treated straw in initial incubation times, in later incubation times (after 24 h) increased dry matter degradability. This situation is mainly a reflection of action of fungi in the alkali condition in urea treated straw. Dry matter degradation in rumen increased with urea treatment, fungi inoculation and the increase in the incubation times. After 24 hours rumen incubation, it was observed that was affected of WSPC and WSUPC groups high degradability in rumen in term of dry matter in 48, 72 and 96 h. Similarly, Kutlu et al., (2000) reported that dry matter degradation rates of treatment groups at 24, 48, 72 and 96 h was affected by the urea treatment, mushroom inoculation, the time after mushroom inoculation and urea x mushroom interaction. Likewise it was stated increased rumen degradability with incubation time (Moon et al., 2010), degraded approximately 25% (Yıldırım and Yıldız, 2010) and 80% (Valmaseda et al., 1990) of DM by PE fungi. On the other hand, there were no significant differences between untreated and treated rice straw in terms of DM and NDF degradability was reported by Karimi et al., (2014). Also, it was indicated straw treated with PE fungus showed the lowest degradability at 48 th, 72 th and at 96 th h of incubation (Fazaeli et al., 2004).

In the study, rapidly soluble DM fraction (a) varied among feed mixture groups. and the 'a' value for DM in WSPE group was higher both numerical and statistical than other forages (Table 3). The lowest rapidly degradable DM fraction was obtained, not statistical but numerical, from WS (control) group. The average rapidly soluble DM fraction for all feed mixture groups in this study was lower than the findings reported by Turgut and Yanar (2004) for some forages and by Karimi et al., (2014) for treated rice straw. But, the average 'a' value for all feed mixture groups in this study was higher generally than findings of Tao et al., (2016) and Karimi et al., (2014) determined for untreated rice straw. These discrepancies may be attributed to content of the feed mixture groups and substrat differences in the studies.

Although the potential degradability fraction 'b' values for DM were not significant among groups statistically, it was observed difference at a certain rate among mixture groups (Table 4). The degradable DM fraction value of 'b' for different substrat reported by Tao et al., (2016), Karimi et al., (2014) and Turgut and Yanar (2004) were lower than the 'b' fraction value obtained in the present study.

The rumen passage rate of DM degradation (c value) in the feed mixture groups were high in groups treated with urea and fungi, Karimi et al., (2014) was determined similar results in untreated rice straw and urea molasses treated rice straw groups. The higher results were obtained by Turgut and Yanar (2004) who reported 'c' values for different forages. Tao et al., (2016) found partly lower values for the 'c' fraction in cell-wall components in the maize stalk according to this research findings.

Significant differences were observed among feed mixture groups studied with respect to effective degradabilities of DM. The result was in accordance statistically with finding of Tao et al., (2016) and Turgut and Yanar (2004) but were the higher numerically from results of these two studies.

In the study, the crude protein content was significantly increased by fungal inoculation and urea treatment and this increase had changed according to fungi varieties. Urea treatment and incubation times. In initial incubation times (until 8 h) crude protein degradability in rumen showed that without urea treatment. PE fungi inoculation had obvious effects on initial crude protein degradability. It was no significant difference among the groups until the 8 th hour but after from 16 th hour this interaction began to become clear. At the 16 th hour, the WSUPC group showed high protein degradability associated with WSPE group. Similar situation was observed at 24 hours as well. Crude protein degradability found higher in groups that treated fungi and urea both statistically and numerically at 48 th hour. Similarly, at 72 th and 96 th hours, the fungus and urea treated groups had high protein degradability and PE fungus was found to be more effective, especially in the urea-treated environment. The assumption increase of protein content by fungal inoculation is one of hypothesis of this study. This hypothesis is supported by Tuyen et al., (2012) and Zadrazil and Uniya (1995). Similar to our results, Turgut and Yanar (2004) found that incubation times increased the CP gain in different forages.

Effect of the feed mixture groups on the degradation rate all the parameters of the CP (a, b, c, k) was appearance similar with DM degradation. Although the mixture groups inoculated with PE had the higher 'a' value in initial of incubation in this study, inoculated groups with PC had showed similar effect in the forthcoming days. Means of 'a' for all feed mixture groups were lower than findings of Turgut and Yanar (Turgut and Yanar, 2004) who determined degradation parameters for CP in some forages. However, the "b" parameter value determined for CP in this study were found to be lower than our results. Besides, Tao et al., (2016) showed that the PC types of white rot fungi increased the 'a' and 'b' parameters value of maize stalk in comparison to without fungi inoculants. In the present study, the results determined for the "a" parameter were higher than the findings indicated by Tao et al., (2016) and the lower 'b' parameter. The differences in both 'a' and 'b' CP values may be as a result of differences in fungus variety, urea treatment, incubation times on wheat straw. The parameter 'c' followed a close course among the feed mixture groups. The parameter 'k' followed a different course among the feed mixture groups. Similarly, Tao et al., (2016) investigated maize stalk treated with *P. chrysosporium* and showed a significant different (decrease) in the content of without fungus in comparison to the untreated straw after incubation.

Conclusions

Results of this study suggest that fungal inoculation and urea treatment are promising means to convert low-quality wheat straw into a higher quality ruminant feed. The inoculation of PC, PE and urea treatment the greater effect on improving the ruminal degradability of DM and CP. The degradation of the DM in wheat straw was altered significantly, mainly by the fungi PC. This fungus can be used in wheat straw for husbandry.

Acknowledgement

This work was supported by funds of the Turkey Agriculture and Forest Ministry. General Directorate of Agricultural Research and Policies and Eastern Anatolian Agricultural Research Institute.

Conflict of interest

The authors acknowledge that this study is a Ph.D thesis. The authors declared that there is no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. Virginia 1990.
- Brand AA., Clcete SWP., Franck F. The effect of supplementing untreated. urea-supplemented and urea-ammoniated wheat-straw with maize-meal and/or fish-meal in sheep. S.Afr. Tydskr. Week 1991; 21(1): 48-54.
- Burdsall HH., Jr H., Eslyn W. A new *Phanerochaete* with *Chrysosporium* imperfect state. Mycotaxon 1974; 1: 124.
- Chaturvedi V., Verme P. An overview of key pretreatment processes employed for bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value added products. 3 Biotech 2013; 3: 415-431.
- Chegeni A., Li YL., Deng KD., Jiang CG., Diao QY. Effect of dietary polymer-coated urea and sodium bentonite on digestibility rumen fermentation, and microbial protein yield in sheep fed high levels of corn stalk. Livestock Science 2013; 157: 141-150.
- Demeyer DI., Meulenmeester M., de Graeve K., Gupta GW. Effect of fungal treatment of nutritive value of straw. Med. Fac. Landbouww Rijksuniv. Gent 1988; 53: 1811-1819.
- Denek H., Deniz S. Ruminant besleme de yaygın olarak kullanılan kimi kaba yemlerin sindirilebilirlik ve metabolik enerji düzeylerinin *in-vitro* metotlarla belirlenmesi. Turk J. Vet. Anim. Sci. 2004; 28: 115-122.
- Eriksson KEL., Blanchette RA., Ander P. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag. New York. 1990.
- Fahmy STM., Klopfenstein TJ. Treatment with different chemicals and their effects on the digestibility of maize stalks: 2. Intake and *in vivo* digestibility as affected by chemical treatment and monensin supplementation. Anim. Feed Sci. Technol. 1994; 45: 309-316.
- Fazaeli H., Mahmudzadeh H., Azizi A., Jelan ZA., Liang JB., Rouzbehan Y., Osman A. Nutritive value of wheat straw treated with pleurotus fungi. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 2004; 12(17): 1681-1688.

- Gültepe EE., Bayram İ. Bitkisel ve endüstriyel atıkların ruminant beslemede etkin kullanımının hayvan verimi üzerine etkileri. Çerçi İH, editör. Rekabet Edebilir Ruminant Yetiştiriciliğinde Yem ve Besleme Yönetiminin Önemi. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2019. p.14-21.
- Hadibarata T., Khudhair AB., Salim MR. Breakdown products in the metabolic pathway of anthracene degradation by a ligninolytic fungus *Polyporus* sp. S133. *Water Air Soil Pollut* 2012; 223: 2201-2208.
- Jalc D., Siroka P., Ceresnakova Z. Effect of six species of white-rot basidiomycetes on the chemical composition and rumen degradability of wheat straw. *Journal General Applied Microbiology*. 1997; 43: 133-137.
- Karimi AH., Acda SP., Capitan SS., Laurena AC., Tambalo FZ., Angeles AA., Loresco MM., Aychocho IO., Sevilla CC. *In-situ* cattle rumen degradability of urea-molasses and cellulase treated rice straw. *Annual Research & Review in Biology* 2014; 4(22): 3420-3428.
- Karabulut A., Canbolat Ö. Yem değerlendirme ve analiz yöntemleri kitabı. Uludağ Üniversitesi. Ziraat Fakültesi 2005; Yayın No:2.05.048.0424.
- Kutlu HR., Görgülü M., Baykal L., Özcan N., Büyükalaca S. Effect of *Pleurotus Florida* Inoculation or urea treatment on feeding value of wheat straw. *Turkish Journal of Veterinary Animal Sciences* 2000; 24: 169-175.
- Ørskov ER., McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science Cambridge* 1979; 92: 499-503.
- Ma F., Wang J., Zeng Y., Yu H., Yang Y., Zhang X. Influence of the co-fungal treatment with two white rot fungi on the lignocellulosic degradation and thermogravimetry of corn stover. *Process Biochem*. 2011; 46: 1767-1773.
- McDonald L. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci. Camb.* 1981; 96: 251-252.
- Moon YH., Ok JU., Lee SJ., Ha JK., Lee SSA. Comparative study on the rumen microbial populations, hydrolytic enzyme activities and dry matter degradability between different species of ruminant. *Animal Science Journal*. 2010; 81: 642-647.
- NRC. Nutrient Requirements of Sheep Sixth revised edition. National academy. Washington D.C. 1985
- Okano K., Boonlue S., Suzuki Y. Effects of ammonium hydroxide treatment on the *in vitro* dry matter digestibility and gas production of wheat straw, sugarcane bagasse medium and konara oak rotted by edible basidiomycetes. *Animal Science Journal* 2005; 76: 147-152.
- Rahman MM., Lourenc OM., Hassim HA., Baars JJP., Sonnenberg ASM., Cone JW., De Boever J., Fievez V. Improving ruminal degradability of oil palm fronds using white rot fungi. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2011; 169: 157-166.

- Reid ID. Solid state fermentation for biological delignification. *Enzyme and Microbial Technology* 1989; 11: 786-803.
- Ribeiro JMCR. Nutritive value of treated straw. In: Tisserand J.-L. (ed.). *Les pailles dans l'alimentation des ruminants en zone méditerranéenne*. Zaragoza: CIHEAM. 1994; p. 79-95 (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 6).
- Sharma RK., Arora DS. Fungal degradation of lignocellulosic residues: an aspect of improved nutritive quality. *Critical Reviews Microbiology* 2013; 1-9.
- Shrivastava B., Thakur S., Khasa YP., Gupte A., Puniya AK., Kuhad RC. White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattlefeed. *Biodegradation* 2011; 22: 823-831.
- Singh D., Zeng J., Laskar DD., Deobald L., Hiscox WC., Chen S. Investigation of wheat straw biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium*. *Biomass and Bioenergy* 2011; 35: 1030-1040.
- SPSS. SPSS Base 19. 0 User Guide. SPSS Inc. Chicago. IL. USA. 2010.
- Sundstøl F., Owen E. Straw and other fibrous by-products as feed. *Dev. Anim. Vet. Sci* 1984; 604.
- Susmel P., Stefanon B., Mills CR., Spenghero M. Rumen degradability of organic matter, nitrogen and fibre fractions forages. *Animal Production* 1990; 51: 515-526.
- Talaei A., Karimi A., Thévenon MF. Influence of heat treatment medium on fungal resistance of beech wood. The International Research Group On Wood Protection. Proceedings IRG Annual Meeting (ISSN 2000-8953). Paper prepared for the 44th Annual Meeting. 16-20 June 2013. Stockholm. Sweden.
- Tao L., Zhang LX., Tu Y., Zhang NF., Si BW., Ma T., Diao QY. (Improving the *in situ* ruminal degradability of maize stalk using fungal inoculants in dorper × thin-tailed han crossbred ewes. *Small Ruminant Research* 2016; 144: 119-125.
- Turgut L., Yanar M. *In-situ* dry matter and crude protein degradation kinetics of some forages in Eastern Turkey. *Small Ruminant Research* 2004; 52: 217-222.
- Turgut L. Kimyasal muameleye tabi tutulan buğday ve arpa samanlarının rumende parçalanabilirliklerinin belirlenmesi. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2008; 23, 3: 183-189.
- Tuyen VD., Cone JW., Baars JJP., Sonnenberg ASM., Hendriks WH. Fungal strain and incubation period affect chemical composition and nutrient availability of wheat straw for Rumen fermentation. *Bioresource Technology* 2012; 111: 336-342.
- Valmaseda M., Almendros G., Martinez AT. Substrate dependent degradation patterns *in-situ* the decay of wheat straw and beech wood by ligninolytic fungi. *Applied Microbiology Biotechnology* 1990; 33: 481-484.
- Van Soest PJ., Robertson JD., Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharide in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 1991; 74: 3583-3597.

- Yao W., Nokes SE. *Phanerochaete chrysosporium* pretreatment of biomass to enhance solvent production in subsequent bacterial solid-substrate cultivation. *Biomass Bioenergy* 2014; 62: 100-107.
- Yıldırım N., Yıldız A. *Pleurotus eryngii* suşlarının lignoselülozik soya saplarını biyodönüştürme etkinlikleri. *Ekoloji* 2010; 19(76): 88-94.
- Zadrazil F., Uniya AK. Studies on the effect of particle size on solid-state fermentation of sugarcane bagasse into animal feed using white-rot fungi. *Bioresource Technology* 1995; 54: 85-87.

Evaluation of Pennyroyal as A Feed Additive on Growth Performance, Some Biochemical Parameters and Antioxidant Status in Weaned Tuj Lambs

Mükremin ÖLMEZ^{1*}, Mustafa MAKAV², Tarkan ŞAHİN³

^{1,3} Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, 36100, Kars

² Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, 36100, Kars

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5003-3383>

² <https://orcid.org/0000-0003-1879-8180>

³ <https://orcid.org/0000-0003-0155-2707>

*Corresponding author: mukremin.olmez@hotmail.com

Research Article

Article History:

Received: 23.12.2021

Accepted: 17.02.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Antioxidant

Biochemical

Mentha pulegium L.

Performance

Tuj

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) leaf powder supplementation in ration on performance, some blood serum biochemical parameters, and antioxidant status in weaned Tuj lambs. Twenty-four Tuj male lambs with an average body weight of 11.5±0.3 kg were allocated to three groups. While no supplementation was added to the basal ration of the control group, dried leaves of pennyroyal at the levels of 0.1% (P1) and 0.2% (P2) were added to the basal ration of treatment groups, respectively. During the experimental period (56 days) the lambs were to be weighted individually every two weeks and body weight gain (BWG), feed consumption (FC), and feed conversion ratio (FCR) were estimated. Also, blood biochemical parameters and activity of antioxidants were determined. According to the study results, BWG, FC, and FCR were not affected by pennyroyal supplementation. Moreover, there was no difference between the control and pennyroyal treatment groups regarding serum biochemical parameters such as glucose, triglyceride, and total protein in the study. Mineral substances such as calcium and phosphorus levels were not influenced by supplementation of pennyroyal to the basal ration. Malondialdehyde and glutathione were affected by Pennyroyal supplementation on the 14th day. In conclusion, the supplementation of pennyroyal to lamb ration did not have a significant act on growth performance.

Yem Katkı Maddesi Olarak Yarpuz Tozunun Sütten Kesilmiş Tuj Kuzularında Büyüme Performansı, Bazı Biyokimyasal Parametreler ve Antioksidan Durumun Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 23.12.2021

Kabul tarihi: 17.02.2022

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Antioksidan

Biyokimyasal parametreler

Mentha pulegium L.

Performans

Tuj

ÖZ

Bu çalışma, sütten kesilmiş Tuj kuzularında rasyona kurutulmuş yarpuz (*Mentha pulegium* L.) tozu ilavesinin performans, bazı kan serumu biyokimyasal parametreleri ve antioksidan durumu üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada ortalama canlı ağırlığı 11,5±0,3 kg olan 24 adet Tuj erkek kuzu üç gruba ayrılmıştır. Kontrol grubunun bazal rasyonuna herhangi bir katkı maddesi ilave edilmezken, muamele gruplarının bazal rasyonlarına sırasıyla %0,1 (P1) ve %0,2 (P2) seviyelerinde yarpuzun kurutulmuş yaprakları ilave edilmiştir. Deneme süresi boyunca (56 gün) kuzular iki haftada bir ayrı ayrı tartılarak, canlı ağırlık artışı (CAA), yem tüketimi (YT) ve yem dönüşüm oranı (YYO) belirlenmiştir. Ayrıca serum biyokimyasal parametreleri ve antioksidan aktivitesi tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, CAA, YT ve YYO yarpuz ilavesinden etkilenmemiştir. Ayrıca, çalışmada glukoz, trigliserit ve total protein gibi serum biyokimyasal parametreleri açısından kontrol ve

yarpuz muamele grupları arasında fark bulunmamıştır. Rasyona yarpuz ilavesinden kalsiyum ve fosfor gibi mineral maddelerin seviyeleri etkilenmemiştir. Yarpuz, 14. günde serum malondialdehit ve glutatyon seviyeleri üzerine etkili olmuştur. Sonuç olarak, kuzu rasyonlarına yarpuz ilavesinin kuzuların büyüme performansı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

To Cite: Ölmez M., Makav M., Şahin T. Evaluation of Pennyroyal as A Feed Additive on Growth Performance, Some Biochemical Parameters and Antioxidant Status in Weaned Tuj Lambs. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):372-385.

Introduction

Antibiotics have been used for many years ensure a healthy growth for animals and increase yield and quality. However, since microorganisms develop resistance to antibiotics and leave residues in edible tissues, it has been revealed that these substances pose a risk for human health (Gümüş and Imik, 2016; Ölmez et al., 2021). After the prohibition of antibiotics as growth promoters in livestock, the search for alternative feed additives has focused on medicinal and aromatic plants (MAP) (Westendarp, 2005; Şahin et al., 2020). MAPs and their extracts have affected on digestibility and blood serum parameters in ruminant animals when added as feed ingredients. It has been determined that it regulates insulin metabolism by affecting serum glucose levels in sheep and calves and has positively effect total protein, calcium (Ca), and phosphorus (P) levels in sheep (Aslani et al., 2007; Mahgoub et al., 2008). It has also been stated that MAPs and their extracts show antioxidant activity (Gümüş et al., 2017).

Pennyroyal (*Mentha pulegium* L.), which belongs to the *Mentha* genus of the Lamiaceae family, is an aromatic plant used worldwide in food, cosmetics, and health found free in nature. Pennyroyal leaves are rich in polyphenols, such as linalool, menthone, menthan, pulegon, piperitenone and other flavonoids. It has been determined that pennyroyal has antioxidant and cytotoxic properties besides these effects (Goodarzi and Nanekarani, 2014; Ölmez and Yörük, 2021).

This study aims to determine the influence of pennyroyal on growth performance, some serum biochemical parameters, and antioxidant status in weaned lambs.

Materials and Method

Feed additive

In the experiment, from Kars (40 °48'21.2 "N 42°53'37.8" E) volunteer pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) was collected in the summer season and powdered by drying and grinding leaves were used. Pennyroyal leaves were dried at room temperature without exposure to the sunshine. Pennyroyal essential oil was obtained for the determination of major compounds. The essential oil was obtained from pennyroyal by the water vapor distillation method. The essential oil components were determined using a gas chromatography device. Measurements were made with TR-FAME MS model, 5% Phenyl Polysilphenylene-siloxane, 0.25 mm inner diameter x 60 m length, 0.25 µm film thickness

column. Helium (99.9%) was used as the carrier gas. Mass spectra (Wiley 9) were identified with the Xcalibur program, using the Scan Mode in data collection (Table 1) (Ölmez and Yörük, 2021).

Table 1. Phenolic composition of pennyroyal essential oil

<i>Compounds</i>	<i>%</i>
Linalool	13.61
p-Menthone	10.56
Terpinen-4-ol	0.28
p-Menthan	6.19
Levomenthol	0.20
α -Terpineol	0.13
Isopulegone	0.11
Pulegone	4.45
Piperitenone oxide	3.07
Thymol	0.49

Ethical approval

The research was conducted with permission from the Kafkas University Animal Experiments Local Ethics Committee (KAU-HADYЕК / 2020-010).

Animals and trial design

The research was conducted at Kafkas University Research Farm. Twenty-four weaned Tuj lambs were used as animal material. This race is bred in the northeastern region of Anatolia in Turkey. The lambs were 8-10 weeks old and had an approximate body weight of 11.5 ± 0.35 kg. In the study, the lambs were divided into a control and two pennyroyal groups, each consisting of eight lambs. Lambs were fed as an individual. While no supplementation was made to the control group, dried pennyroyal leaf powder was added to the treatment groups' concentrate at the levels of 0.1% (P1) and 0.2% (P2), respectively. After the seven-day adaptation period, the animals were subjected to a 56-days experimental period. The lambs were fed with forage and concentrate feed twice a day (08.00 am and 04.00 pm). Ration was prepared according to the daily nutritional requirements of the lambs (NRC 1985). The daily feed consumption (FC) of the groups was determined during the adaption and the treatment period. The animals were fed ration containing approximately 30% forage (oat forage) and 70% concentrate. The feed was increased according to the body weight (BW) determined by two-week weighing. Fresh and clean water was provided *ad libitum*. Concentrate and oat hay (89.00% dry matter, 9.00% crude protein) were analyzed according to the methods specified in AOAC (2019). The Metabolic energy of concentrate was calculated according to the TSE (1991). The Concentrate was set

as isonitrogenic and isoenergetic. The composition of the concentrate were presented in Table 2.

Table 2. Nutrient content and composition of concentrated feed.

Ingredients	%
Concentrate	
Maize	21.00
Barley	11.50
Wheat	25.25
Wheat bran	17.64
Cottonseed meal	6.34
Soybean meal	11.00
Vegetable oil	3.25
Dicalcium phosphate	0.50
Limestone	2.77
Salt	0.50
Vit-min mix *	0.25
Metabolized Energy kcal/kg	2800
Crude protein	16.00

*: Each 1 kg of the vitamin-mineral mix: It contains 16.000.000 mg vitamin A, 4.000.000 mg vitamin D3, 25.000 mg vitamin E, 50.000 mg zinc, 40.000 mg iron, 40.000 mg manganese, 8.000 mg copper, 700 mg iodine, 450 mg selenium, 200 mg cobalt.

Performance

During the study, lambs were weighed every two weeks before morning feeding. The differences between the two weights were recorded as body weight gain (BWG). The FC of lambs was calculated by weighing the feeds given and leftover. The feed conversion rate (FCR) was determined by dividing the FC for two weeks by BWG.

Biochemical Parameters

Blood samples were taken from the vena jugularis of all lambs at the end of the study. Blood samples were centrifuged at 3000 rpm for 5 minutes. All samples were kept at -20 °C in the freezer. On the day of analysis, after the samples were thawed at + 4 ° C, glucose, triglyceride, total protein, Ca, and P-values were measured using commercial kits (MyBioSource® Company, San Diego/USA).

Antioxidant Status

Malondialdehyde (MDA) and glutathione (GSH) levels were measured in a spectrophotometric analyzer according to Yoshioka et al. (1979) and Beutler (1963) methods, respectively.

Statistical Analysis

The data were analyzed using the ANOVA test (Graphpad Prism 8 / San Diego, CA). Tukey's range test was adopted for the significance of the difference between the results. Results were given as mean \pm Standard error mean (SEM).

Results

Effect of Pennyroyal on Growth Performance

The results obtained regarding the BWG of Tuj lambs were shown in Table 3. BWG was not affected by supplementation of dietary pennyroyal ($P>0.05$).

Table 3. Effect of pennyroyal on BWG in Tuj lambs (Mean \pm SEM, g/day)

Groups Days	C	P1	P2	P-value
0-14	211.29 \pm 1.98	211.86 \pm 2.34	211.90 \pm 2.56	0.702
14-28	217.57 \pm 1.29	218.29 \pm 1.95	217.32 \pm 1.85	0.706
28-42	213.71 \pm 1.41	213.20 \pm 1.38	216.14 \pm 1.42	0.891
42-56	212.14 \pm 2.54	213.30 \pm 1.32	213.71 \pm 1.57	0.430
0-56	213.68 \pm 1.16	214.1 \pm 1.24	214.76 \pm 1.45	0.610

C: Control, P1: 0.1% Pennyroyal, P2: 0.2% Pennyroyal

Also, the FC and FCR were supplied in Tables 4 and 5. It was determined that the differences between FC and FCR between groups were insignificant during the trial ($P>0.05$).

Table 4. Effect of pennyroyal on FC in Tuj lambs (Mean \pm SEM, g/day)

Groups Days	C	P1	P2	P value
0-14	985.71 \pm 26.62	983.29 \pm 19.43	985.71 \pm 21.91	0.996
14-28	1068.43 \pm 14.53	1054.86 \pm 14.85	1050.43 \pm 10.52	0.623
28-42	1079.00 \pm 11.61	1071.29 \pm 9.14	1083.86 \pm 10.33	0.695
42-56	1200.86 \pm 9.63	1204.14 \pm 10.81	1208.86 \pm 11.34	0.859
0-56	1083.50 \pm 9.82	1078.39 \pm 8.32	1082.21 \pm 7.15	0.908

C: Control, P1: 0.1% Pennyroyal, P2: 0.2% Pennyroyal

Table 5. Effect of pennyroyal on FCR in Tuj lambs (Mean±SEM, g/g)

Groups Days	C	P1	P2	P value
0-14	4.67±0.15	4.65±0.13	4.66±0.11	0.993
14-28	4.91±0.07	4.83±0.08	4.83±0.06	0.662
28-42	5.05±0.05	5.02±0.05	5.01±0.05	0.876
42-56	5.66±0.05	5.65±0.07	5.66±0.04	0.981
0-56	5.07±0.06	5.03±0.06	5.04±0.04	0.780

C: Control, P1: 0.1% Pennyroyal, P2: 0.2% Pennyroyal

The Effect of Pennyroyal on The Biochemical Parameters

The results regarding the glucose, triglyceride, total protein, calcium, and phosphorus in the serum obtained during the trial were given in Figure 1. The measurements every two weeks were determined that the differences among the groups in serum glucose were not significant ($P>0.05$). While the differences in serum triglyceride among the groups on the 1st, 14th, 28th, 42nd, and 56th days were not significant ($P>0.05$), it was found that the difference was significant in the P1 group compared to the control group on the 14th day ($P<0.01$). There was no difference between the P1 and P2 groups ($P>0.05$). The differences among the groups in serum total protein were not significant, except for the 42nd day ($P>0.05$). There was no significant difference between the pennyroyal groups' calcium and phosphorus compared to the control group ($P>0.05$). Also, there was no difference between the P1 and P2 groups ($P>0.05$).

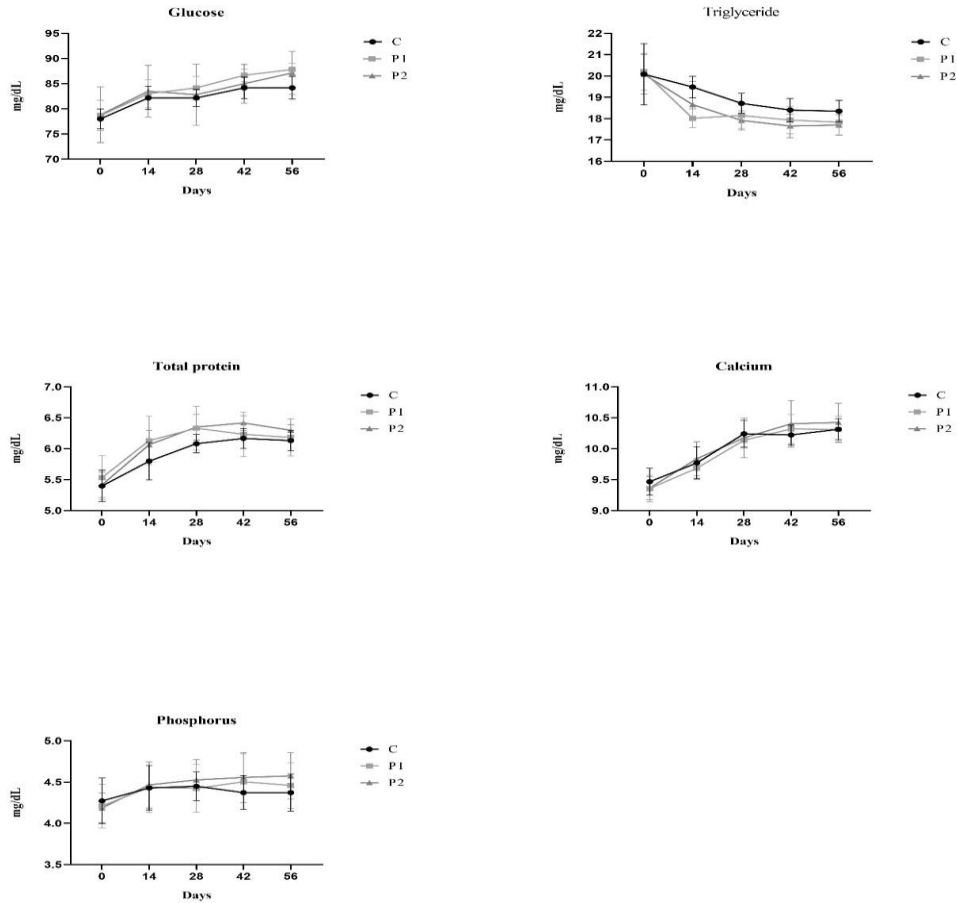


Figure 1. Effect of pennyroyal on serum biochemical parameters in Tuj lambs (n:8).

C: Control, P1: 0.1% Pennyroyal, P2: 0.2% Pennyroyal

The Effect of Pennyroyal on Antioxidant Status

The effects of pennyroyal on antioxidant parameters such as MDA and GSH were presented in Figure 2. While the differences in serum MDA on the 1st, 28th, 42nd, and 56th days of the study were not significant ($P > 0.05$), it was concluded that the pennyroyal groups decreased serum MDA on the 14th day of the study ($P < 0.01$). It was determined that the difference between the P1 and P2 groups was not significant ($P > 0.05$). The differences among serum GSH of lambs on the 1st, 28th, 42nd, and 56th days were not significant ($P > 0.05$). But, it was concluded that the GSH in the P2 group was statistically different from the control group on the 14th day of the study ($P < 0.05$).

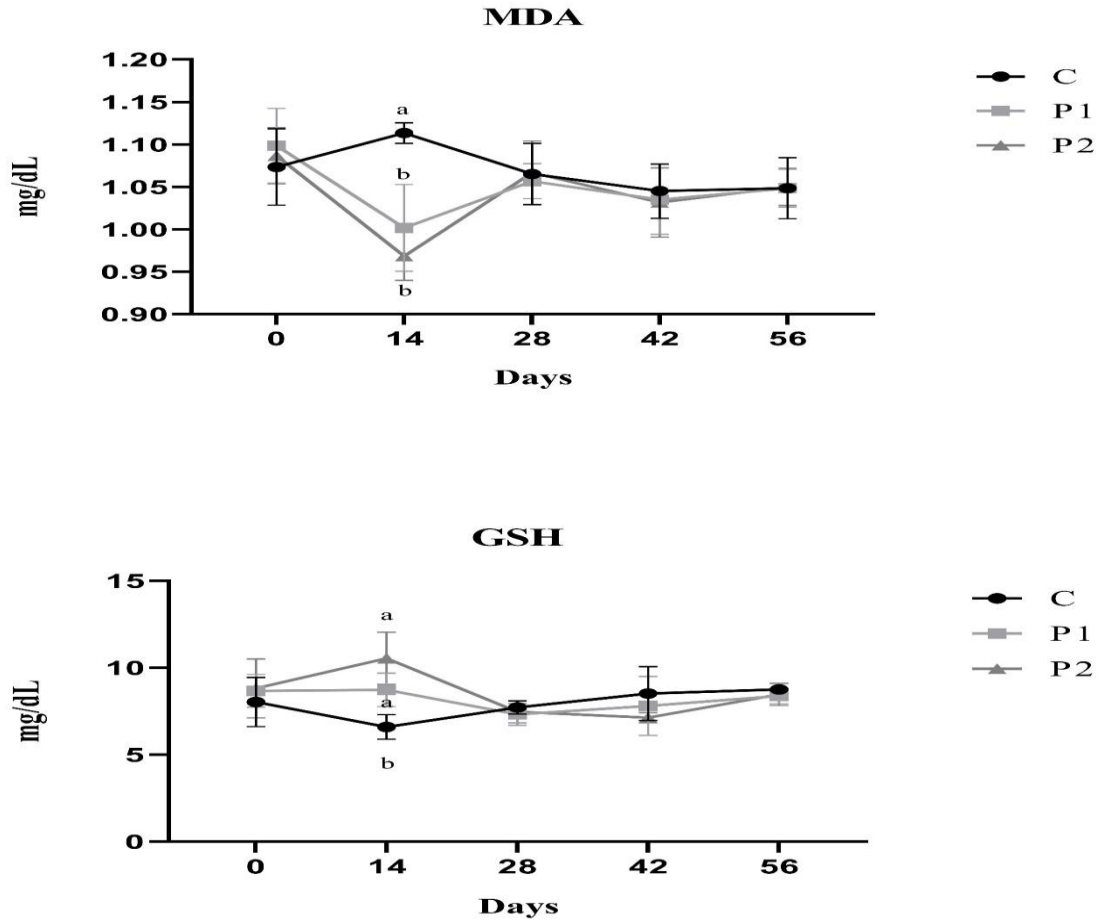


Figure 2. Effect of pennyroyal on antioxidant parameters in Tuj lambs (n:8).

C: Control, P1: 0.1% Pennyroyal, P2: 0.2% Pennyroyal

^{a-c}: Means in the same column with different superscripts differ ($P < 0.05$)

Discussion

It has been stated that pennyroyal provides body weight gain by increasing nutrient absorption through major components such as Linalool and Menthone. In addition, it has been reported that it prevents the oxidation of nutrients and increases the yield by playing the role of antioxidant (Ölmez and Yörük, 2021). The present study results determined that pennyroyal supplemented at different levels did not affect the growth performance of Tuj lambs. Many studies that the effectiveness of aromatic herbs on performance parameters have pointed out similarities with this study's results (Chaves et al., 2011; Yang et al., 2007). In the studies conducted, Mohamadi et al. (2017) reported that pennyroyal had no effect on performance parameters in sheep, and Khamisabadi et al. (2016) stated that there was no change in FCR in the groups in which 3% mint and 3% thyme were added to lamb rations. The same researchers declared that the addition of 3% mint from the Mentha family increased the daily BWG. Contrary to this study's results, (Ölmez and Yörük, 2021) stated that pennyroyal improved BWG by increasing digestibility. Likewise, Lewis et al. (2003) argued that pennyroyal and canola oils increased

BWG in broilers. This result was due to the antimicrobial property of pennyroyal and its positive effect on the intestines. Another study affirmed that mint, one of the *Mentha* species, increased appetite and improved FC, and BWG in broilers (Asadi, 2017; Ölmez et al., 2021). As a result, differences in the aromatic plants, ration formulation, interaction between feeds, animal species, and compatibility with rumen microbial fermentation cause aromatic plants to yield varying results between studies (Ölmez and Yörük, 2021).

Serum glucose level was not affected by pennyroyal supplementation during the entire trial. In contrast to this study, Khamisabadi et al. (2016) stated that the supplementation of dietary mint significantly increased the serum glucose level in the middle of the study compared to the control group and decreased the glucose level at the end of the study. This decrease may be due to phenolic components such as menthol and menthone in the mint structure. In the present study, serum triglyceride level was not affected by pennyroyal supplementation, which decreased significantly in the P2 group on the 14th day. It did not differ in the following weeks. A similar study showed that the supplementation of thyme essential oil to calf ration (5 g/day/calf) did not change serum triglyceride levels (Vakili et al., 2013). This study's results were similar to some studies (Ahmadi Naghadehi et al., 2014; Mohamadi et al., 2017).

At the end of the study, the serum protein results were consistent with the results of Mohamadi et al. (2017) that it was not affected by the supplementation of 110 mg/day peppermint essential oil and 110 mg/day pennyroyal essential oil to sheep ration and the results of Ahmadi Naghadehi et al. (2014) where the addition of peppermint essential oil (100 and 200 mg) to sheep rations did not affect total protein values. Researchers have reported that aromatic plants depending on feed consumption may affect changes in serum parameters such as protein and triglycerides (Yang et al., 2010).

Hosoda et al. (2006) reported that the addition of 5% aromatic herb mixture to cattle rations did not affect serum glucose, triglyceride, and total protein levels. However, in a study on *Oregano* essential oil, it was stated that serum glucose, triglyceride, and total protein levels were not affected (Gümüş et al., 2017). In another study, it was determined that the serum glucose level increased with the supplementation of thyme essential oil. The glucose level was higher in the groups with the highest essential oil level (Ebrahimi et al., 2018). Amad et al. (2011) observed that the supplementation of thyme and anise to broilers and Soltan (2009) discovered that adding essential oil to milk replacer in calves increased serum total protein levels. It has also been established that the addition of laurel essential oil has a lowering effect on serum triglyceride levels in Holstein calves (Izzaddeen and Kaygısız, 2018).

In light of the statistical data gathered, it was concluded that pennyroyal addition did not significantly affect serum calcium and phosphorus concentration during the trial. Some researchers have reported that the differences in mineral metabolism may vary depending on the composition of aromatic plants used. No changes were found in serum calcium and phosphorus concentration in the present study. Limited studies have performed that the effects of pennyroyal supplementation on blood serum

mineral concentrations in Tuj lambs in the growing period. Gümüş et al. (2017) stated that the supplementation of essential oil (oregano) to lamb ration did not affect serum phosphorus levels. Also, they reported that 200 mg/kg oregano oil significantly decreased serum calcium level compared to the control group. El-Katcha et al. (2016) reported that garlic supplementation did not affect serum mineral levels in growing lambs. In addition, Khaksar et al. (2012) stated that the supplementation of thyme essential oil did not affect calcium and phosphorus levels in quails. Existing data were also supported by some researchers (Pirmohammadi et al., 2014; Zakeri et al., 2014). Another study stated that the essential oil mixture in broilers decreased the serum calcium level but did not change the serum phosphorus level (Cengiz et al., 2016). It is believed that the variety and form of aromatic plants, ration, and feeding conditions were affected the study results.

The organism keeps antioxidant functions in balance with agents that cause oxidative stress. Stress conditions lead to lipid peroxidation with the increase of free radicals. The peroxides formed are broken down to form reactive carbon compounds. The increase of MDA is directly proportional to oxidative damage. It has been reported that the effectiveness of pennyroyal on low MDA levels is higher than many medicinal aromatics (Karabulut and Gülay, 2016). GSH is the reduced state of glutathione, the most critical antioxidant substance in the cell. Glutathione protects the organism against oxidative damage by reacting with peroxides (Chen et al., 2013; Çötelci et al., 2013). In the present study, while there was no difference in serum MDA and GSH levels on the 1st, 28th, 42nd, and 56th days, pennyroyal affected the MDA and GSH levels on the 14th day of the study. While these data were similar to some study results (Marzouk et al., 2008; Ahmadi et al., 2014), they also differed from some study results (Mašek et al., 2014; Ri et al., 2017). Pennyroyal has phenolics, such as linalool and menthol. These compounds function as antioxidants which are very useful for improving the health of the body's system (Sunarno et al., 2019). In light of the study's data, more studies are needed to determine the effectiveness antioxidant activity of pennyroyal.

Conclusion

Although it is thought that the effect of pennyroyal addition to the growing rations of Tuj lambs on the growth performance, blood serum biochemical, and antioxidant parameters are limited, pennyroyal supplementation of the lamb ration has been represented a similar effect in comparison to the control group.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Authors' contributions

MÖ designed the study. MÖ, TŞ, and MM performed the methodology. MÖ and MM collected the data. MM analysed the biochemical parameters. MÖ and MM performed statistical analysis. The original draft was written by MÖ and TŞ. All authors read and agreed the final version of manuscript.

References

- Ahmadi F., Ebrahimnejad Y., Ghalehkandi JG., Sis NM. The effect of dietary zinc oxide nanoparticles on the antioxidant state and serum enzymes activity in broiler chickens during starter stage. International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering. Dubai (UAE): IICBE, 2014; 26-28.
- Ahmadi Naghadehi A., Pirmohammadi R., Sahrae Belverdi M., Parsaemehr K. Effect of peppermint (*Mentha piperita*) on digestibility and rumen fermentation of Makuei sheep. Iranian Journal Animal Science 2014; 106: 65-70.
- Amad A., Männer K., Wendler K., Neumann K., Zentek J. Effects of a phytogetic feed additive on growth performance and ileal nutrient digestibility in broiler chickens. Poultry Science 2011; 90(12): 2811-2816.
- AOAC. Official methods of analysis. 21st ed. USA: AOAC International; 2019.
- Asadi N. Performance of broilers supplemented with peppermint (*Mentha piperita* L.) powder. Journal of Evidence-Based Integrative Medicine 2017; 22(4): 703-706.
- Aslani MR., Maleki M., Mohri M., Sharifi K., Najjar-Nezhad V., Afshari E. Castor bean (*Ricinus communis*) toxicosis in a sheep flock. Toxicon 2007; 49(3): 400-406.
- Beutler E. Improved method for the determination of blood glutathione. Journal of Laboratory and Clinical Medicine 1963; 61: 882-888.
- Cengiz S., Yesilbag D., Eren M., Cetin I., Meral Y., Biricik H. Effects of volatile oil additives on growth, carcass performances, and calcium and phosphorus concentrations in serum and bone of broilers. Revue de Médecine Vétérinaire 2016; 167(7-8): 230-239.
- Chaves AV., Dugan MER., Stanford K., Gibson LL., Bystrom JM., McAllister TA., Van Herk F., Benchaar C. A dose-response of cinnamaldehyde supplementation on intake, ruminal fermentation, blood metabolites, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs. Livestock Science 2011; 141(2): 213-220.
- Chen G., Wu J., Li C. The effect of different selenium levels on production performance and biochemical parameters of broilers. Italian Journal of Animal Science 2013; 12(4): e79.
- Çöteli E., Erden Y., Karataş F. Yarpuz (*Mentha pulegium* L.) bitkisindeki malondialdehit, glutatyon ve vitamin miktarları ile total antioksidan kapasitesinin araştırılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2013; 17(2): 4-10.

- Ebrahimi M., Sobhanirad S., Bayat A. Effects of Ajwain (*Trachyspermum ammi*) and Thyme (*Thymus vulgaris*) oils on nutrients digestibility, blood parameters and growth performance of brown swiss neonatal calves. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 2018; 8(3): 387-395.
- El-Katcha M.I., Soltan M.A., Essi M.S. Effect of garlic extract supplementation on growth performance, nutrient digestibility and some blood serum biochemical changes of fattening lambs. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences* 2016; 48: 124-133.
- Goodarzi M., Nanekarani S. Effects of feeding *Mentha pulegium* L. as an alternative to antibiotics on performance of broilers. *APCBEE Procedia* 2014; 8: 53-58.
- Gümüş R., Erol H.S., Imik H., Halıcı M. The effects of the supplementation of lamb rations with oregano essential oil on the performance, some blood parameters and antioxidant metabolism in meat and liver tissues. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2017; 23(3): 395-401.
- Gümüş R., Imik H. The effect of yucca schidigera powder added to lamb feed on fattening performance, some blood parameters, the immune system, and the antioxidant metabolism of the hepatic tissue. *Turkish Journal of Veterinary Animal Science* 2016; 40(3): 263-270.
- Hosoda K., Kuramoto K., Eruden B., Nishida T., Shioya S. The effects of three herbs as feed supplements on blood metabolites, hormones, antioxidant activity, IgG concentration, and ruminal fermentation in Holstein steers. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 2006; 19(1): 35-41.
- Izzaddeen S.I., Kaygısız A. Effect of essential oil of Laurel (*Laurus nobilis* L.) on performance, blood and fecal parameters of Holstein calves during suckling period. *Pakistan Journal of Zoology* 2018; 50(3): 799-1198.
- Karabulut H., Gülay M.Ş. Antioksidanlar. *MAE Veteriner Fakültesi Dergisi* 2016; 1(1): 65-76.
- Khaksar V., Van Krimpen M., Hashemipour H., Pilevar M. Effects of thyme essential oil on performance, some blood parameters and ileal microflora of Japanese quail. *Journal of Poultry Science* 2012; 49(2): 106-110.
- Khamisabadi H., Kafilzadeh F., Charaien B. Effect of thyme (*Thymus vulgaris*) or peppermint (*Mentha piperita*) on performance, digestibility and blood metabolites of fattening Sanjabi lambs. *Biharean Biologist* 2016; 10(2): 118-122.
- Lewis M.R., Rose S.P., Mackenzie A.M., Tucker L.A. Effects of dietary inclusion of plant extracts on the growth performance of male broiler chickens. *British Poultry Science* 2003; 44(S1): 43-44.
- Mahgoub O., Kadim I.T., Tageldin M.H., Al-Marzooqi W.S., Khalaf S.Q., Ali A.A. Clinical profile of sheep fed non-conventional feeds containing phenols and condensed tannins. *Small Ruminant Research* 2008; 78(1-3): 115-122.
- Marzouk B., Fredj M.B.H., Chraief I., Mastouri M., Boukef K., Marzouk Z. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from Tunisian *Mentha pulegium* L. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 2008; 6(1): 78.

- Mašek T., Starčević K., Mikulec Ž. The influence of the addition of thymol, tannic acid or gallic acid to broiler diet on growth performance, serum malondialdehyde value and cecal fermentation. *European Poultry Science* 2014; 78.
- Mohamadi R., Rahchamani R., Ghanbari F., Farivar F. Peppermint and pennyroyal essential oil effect on performance, rumen microbial population and some blood parameters of sheep. *Iranian Journal of Veterinary Medicine* 2017; 11(1): 75-84.
- NRC. Nutrient requirements of sheep. Washington, DC: National Academies Press; 1985.
- Ölmez M., Işık SA., Şahin T., Yörük MA. The effects of Pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) on performance, carcass and meat quality in Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2021; 68(4): 343-348.
- Ölmez M., Şahin T., Karadağoğlu Ö., Yörük MA., Kara K., Dalğa S. Growth performance, carcass characteristics, and fatty acid composition of breast and thigh meat of broiler chickens fed gradually increasing levels of supplemental blueberry extract. *Tropical Animal Health and Production* 2021; 53(1): 109.
- Ölmez M., Yörük MA. Effects of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) dietary supplementation on performance, carcass quality, biochemical parameters and duodenal histomorphology of broilers. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society* 2021; 72(3): 3213-3222.
- Pirmohammadi R., Anassori E., Zakeri Z., Tahmouzi M. Effects of garlic supplementation on energy status of pre-partum Mahabadi goats. *Veterinary Research Forum: an International Quarterly Journal* 2014; 207.
- Ri CS., Jiang XR., Kim MH., Wang J., Zhang HJ., Wu SG., Bontempo V., Qi GH. Effects of dietary oregano powder supplementation on the growth performance, antioxidant status and meat quality of broiler chicks. *Italian Journal of Animal Science* 2017; 16(2): 246-252.
- Soltan M. Effect of essential oils supplementation on growth performance, nutrient digestibility, health condition of Holstein male calves during pre-and post-weaning periods. *Pakistan Journal of Nutrition* 2009; 8(5): 642-652.
- Sunarno S., Zubaedah S., Rini ANS., Sekarsari E., Rahadian R. Cinnamon and gotu kola supplementation to produce high antioxidant and low cholesterol of quail pectoral meat. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education* 2019; 11(1): 148-155.
- Şahin T., Sural T., Ölmez M., Karadağoğlu Ö. Bitkisel ekstrakt karışımlarının broylerlerde performans, karkas randımanı ve bazı iç organ ağırlıkları üzerine etkisi. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi* 2020; 91(2): 137-146.
- TSE. Hayvan Yemleri-Metabolik (Çevrilebilir) Enerji Tayini (Kimyasal Metot). TSE; 1991.
- Vakili AR., Khorrani B., Mesgaran MD., Parand E. The effects of thyme and cinnamon essential oils on performance, rumen fermentation, and blood metabolites in Holstein calves consuming high concentrate diet. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 2013; 26(7): 935-944.

- Westendarp H. Essential oils for the nutrition of poultry, swine and ruminants. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 2005; 112(10): 375.
- Yang W., Benchaar C., Ametaj B., Beauchemin K. Dose-response to eugenol supplementation in growing beef cattle: Ruminal fermentation and intestinal digestion. *Animal Feed Science and Technology* 2010; 158(1-2): 57-64.
- Yang W., Benchaar C., Ametaj B., Chaves A., He M., McAllister T. Effects of garlic and juniper berry essential oils on ruminal fermentation and the site and extent of digestion in lactating cows. *Journal of Dairy Science* 2007; 90(12): 5671-5681.
- Yoshioka T., Kawada K., Shimada T., Mori M. Lipid peroxidation in maternal and cord blood and protective mechanism against activated-oxygen toxicity in the blood. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 1979; 135(3): 372-376.
- Zakeri Z., Pirmohammadi R., Anassori E., Tahmouzi M. Feeding raw garlic to dairy goats: effects on blood metabolites and lactation performance. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2014; 20: 399-404.

Japon Bildiricini Rasyonlarına Murt Uçucu Yağı (*Myrtus Communis*) İlavesinin Lipopolisakkarit Uyarımlı İnflamasyonda Büyüme, Yem Tüketimi, Karkas, Bazı Kan ve Doku Özellikleri Üzerine Etkileri

Süleyman Ercüment ÖNEL^{1*}, Sema ALAŞAHAN², Altuğ KÜÇÜKGÜL³, Mehmet Mustafa İŞGÖR⁴, Özgür KANAT⁵, Betül DAĞOĞLU HARK⁶

¹Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Hatay-TURKEY

²Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Science, Hatay-TURKEY

^{3,4}Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Biochemistry, Hatay-TURKEY

⁵Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Pathology, Hatay-TURKEY

⁶Firat University, School of Medicine, Department of Biostatistics and Medical Informatics, Elazığ-TURKEY

¹<https://orcid.org/0000-0001-6599-0541>

²<https://orcid.org/0000-0002-1144-7786>

³<https://orcid.org/0000-0001-6791-1595>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-1729-4717>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-9747-5496>

⁶<https://orcid.org/0000-0002-5189-1929>

*Sorumlu yazar: ercumentonel@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.12.2021

Kabul tarihi: 28.02.2022

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Oksidatif stres
Karaciğer yağlanma
Bağırsak hiperplazi
Uçucu yağ

ÖZ

Bu çalışmada yeme katılan mersin (murt) uçucu yağının Lipopolisakkarit (LPS) uyarımlı inflamasyonda bildiricilerde canlı ağırlık, yem tüketimi, yemden yararlanma oranı, kesim özellikleri, bazı kan ve organ parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma grupları, kontrol (ticari civciv başlangıç yemi), M grubu (ticari civciv başlangıç yemi +200 mg/kg Murt uçucu yağ), MLPS grubu (ticari civciv başlangıç yemi +1 mg/kg-17. Gün ve 7,5 mg/kg 24. gün intrabdominal LPS uygulanan grup) ve LPS (ticari civciv başlangıç yemi + 1 mg/kg-17. Gün ve 7,5 mg/kg 24. gün intraabdominal LPS uygulanan grup) şeklinde oluşturulmuştur. Çalışma toplam 40 adet (4x10) bildiricini civcivinden oluşan 4 deneme grubu oluşturulmuş, besi süresi 36 gün sürmüştür. Çalışmada kan ve karaciğer Oksidatif Stress İndeksi (OSI) değerleri murt ilaveli M ve MLPS gruplarında murt ilavesiz kontrol gruplarından daha düşük saptanmıştır. Çalışma süresince canlı ağırlık değeri Murt ilaveli gruplarda murt ilavesiz gruplardan daha düşük saptanmıştır. Ayrıca yemden yararlanma oranı 5-33. günler arasında murt ilaveli M grubunda diğer gruplardan önemli derecede daha iyi olmuştur. Taşlık oranı ve göğüs+sırt+boyun+kanat oranı değerleri bakımından gruplar arasında önemli farklılık belirlenmiştir. Çalışmada ince bağırsaklarda makroskopik ve histopatolojik olarak hiperemi görülmemiş, hücre infiltrasyonunun kontrol grubuna göre murt ilave edilen diğer gruplarda artış şekillenmiş ve epitelde dejenerasyon ve nekroz daha belirgin olarak tespit edilmiştir. Çalışmada bildiricini karma yemine murt ilavesinin büyüme performansına, yem tüketimine ve yemden yararlanma oranına etkisinin olumlu yönde olduğu sonucuna varılmıştır.

Effects of Adding Murt Volatile Oil (*Myrtus Communis*) to Japanese Quail Diets on Growth, Feed Consumption, Carcass, Some Blood and Tissue Characteristics in Lipopolysaccharide-Induced Inflammation

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 28.12.2021

Accepted: 28.02.2022

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Oxidative stress

Liver adiposity

Intestinal hyperplasia

Volatile oil

This study, it was aimed to determine the effects of murt volatile oil added to the diet on Lipopolysaccharide (LPS) induced inflammation on body weight, feed consumption, feed conversion ratio, slaughter characteristics, some blood and organ parameters in quails. The study groups were formed as follows: control (commercial chick starter feed), M group (commercial chick starter + 200 mg/kg Murt volatile oil), MLPS group (commercial chick starter + 1 mg/kg-17th day and 7.5 mg/kg- 24th day intrabdominal LPS administered group) and LPS (commercial chick starter feed + 1 mg/kg 17th day and 7.5 mg/kg - 24th day intraabdominal LPS administered group). The study, 4 experimental groups consisting of 40 (4x10) quail chicks were formed and the fattening period lasted for 36 days. The study, blood and liver OSI (Oxidative stress index) values were found to be lower in the M and MLPS groups with murt supplementation than in the control groups without murt addition. During the study, the body weight value was determined lower in the groups with Murt added than in the groups without Murt addition. In addition, the feed conversion ratio was significantly better in the M group with murt supplementation between the 5th and 33rd days than in the other groups. Significant differences were determined between the groups in terms of gizzard ratio and chest+back+neck+wing ratio values. In the study, macroscopic and histopathological hyperemia was not observed in the small intestines, there was an increase in cell infiltration in other groups with added murt compared to the control group, and degeneration and necrosis of the epithelium were detected more prominently. In the study, it was determined that the addition of murt to quail compound feed had a positive effect on growth performance, feed consumption and feed efficiency.

To Cite: Önel SE., Alaşahan S., Küçükgül A., İşgör MM., Kanat Ö., Hark BD. Effects of Adding Murt Volatile Oil (*Myrtus Communis*) to Japanese Quail Diets on Growth, Feed Consumption, Carcass, Some Blood and Tissue Characteristics in Lipopolysaccharide-Induced Inflammation. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):386-400.

Introduction

The Latin name of Murt fruit (*Myrtus communis* L.) is in the genus *Myrtus* of the Myrtaceae family. Murt fruit is located in the natural flora of the Mediterranean region. It is expressed with the local names 'murt, myrtle, blueberry and wild myrtle' (Sargin 2019). The leaves and fruit of the murt fruit are used by people. Fresh fruits are consumed raw as well as being evaluated by extracting juice or making jam.

It is reported that there are 40 components in the leaves and 38 components in the fruit of Murt. The most common components in murt fruit and leaf are limonene, α -pinene, linalyl acetate and eucalyptol (Dönmez and Salman, 2017). Murt leaf contains tannins, flavonoids and volatile oils (Baytop, 1999). In addition, the fruits of the murt plant mostly contain sugars and organic acids (such as citric and malic acids) (Martin et al. 1999). Murt is a plant with high antioxidant capacity. In addition, Myrtle plant expressed as plants with antibacterial effects. (Temamoğulları et al., 2019, Önel and Aksu, 2020).

In poultry farming, research continues by adding different forms of different plants to the feed to reduce the effect of stress factors, increase performance and improve feed efficiency (Aksu et al., 2018; Petričević et al., 2018, Önel and Aksu, 2019; Şahin et al., 2020). Studies are also carried out to determine the effect of volatile oils obtained from various plants, which are feed additives, on poultry nutrition (Çimrin and Demirel, 2016, Yeşilbağ, 2017). Herbal volatile oils are considered natural, less toxic than antibiotics, and residue-free antimicrobial growth promoters (Zhai et al., 2018, Gül et al.,

2019). Volatile oils result in less exposure to growth-suppressing disorders associated with digestion and metabolism. Because volatile oils stimulate the secretion of digestive enzymes and stabilize the ecosystem of the intestinal microflora (Zhai et al., 2018). There are studies on the positive effect of volatile oils added to feed in broilers on body weight gain and feed conversion rate (Bento et al., 2013; Özsoy et al., 2017). However, Ölmez et al. (2020) reported that the volatile oil mixture did not have a significant effect on body weight gain, feed consumption, feed conversion ratio, carcass yield and edible internal organ weights in domestic Turkish geese, but increased duodenum crypt depth.

Lipopolysaccharide (LPS) is an endotoxin found in the outer membrane of gram-negative bacteria and plays a key role in pathogenesis (Whitfield and Trent, 2014). LPS, which provides an effective permeability barrier for bacteria such as antibiotics and cationic antimicrobial peptides, is an important glycolipid located on the outside of the membrane, and divalent cations stabilize the membrane, allowing a layer to form. (Nikaido, 2003, Maldonado et al., 2016). High doses of LPS increase the secretion of proinflammatory mediators that cause a detrimental state to metabolism called oxidative stress (Libby, 2007). Therefore, it is thought that reactive oxygen species (ROS) have an important place in the mechanism of LPS toxicity (Kallapura et al., 2014, Halawa et al., 2018).

In this study, it was aimed to determine the effects of murt volatile oils added to the feed on LPS-induced inflammation on body weight, feed consumption, feed conversion ratio, slaughter characteristics, some blood and organ parameters in quails.

Materials and Methods

Ethical approval

The study was accepted with the decision numbered 2021/06-04 of Hatay MKU Animal Experiments Local Ethics Committee (HADYEK). The study was carried out in Hatay MKU Experimental Research Application and Research Center-Alternative Poultry Breeding Unit.

Feed material

In the study, a standard quail diet based on corn and soymeal, in accordance with NRC (1994) standards (23.7% Crude Protein and 2850 kcal/kg Metabolizable Energy) was used. During the study, quails were given feed and water ad libitum.

Obtaining plant volatile oil

The volatile oil used in the study was obtained by water distillation method, collected during the flowering period of *Myrtus communis* plant, which grows naturally in the province of Hatay at 35°54'20.5"N 36°02'29.2"E location, and dried at 35 °C.

Component analyses of *Myrtus communis* volatile oil

Determination of volatile oil components was performed with Thermo Scientific ISQ Single Quadrupole model gas chromatography device. A column with TG-Wax MS-A model, 5% Phenyl Polysilphenylene-siloxane, 0.25 mm inner diameter x 30 m length, 0.25 μm film thickness was used. Helium (99.9%) was used as the carrier gas at a flow rate of 1 mL/min. The ionization energy was set to 70 eV and the mass range m/z 1.2-1200 amu. Scan mode was used for data collection. MS transfer line temperature was 250°C, MS ionization temperature was 220°C, injection port temperature was 220°C, column temperature was 50°C at the beginning and it was increased to 220°C with a temperature increase rate of 3°C/min. The structure of each compound is defined by the Xcalibur program using mass spectra (Mavi et al., 2021). The chemical composition and volatile oil components of Murt volatile oil used in the study are given in Table 1.

Table 1. Chemical components of *Myrtus communis* volatile oil

Retention Time (RT) (min)	Rate (%)	Components
13.17	25.13	α -pinene
13.22	0.40	α -thujene
16,60	0.31	Propionicacid
17,35	0.57	1-beta-pinene
19,90	0.26	3-carene
20,99	0.17	α -phellandrene
24.28	38.44	Eucalyptol
26.30	0.22	gamma-terpinene
26.79	0.22	β -ocimene
28.05	1.13	para-cymene
46.02	5.42	Linalool
46.53	1.88	Linalylacetate
48.36	0.23	β -elemene
48.82	1.47	caryophyllene
49.12	0.41	4-carvomenthenol
52.63	0.65	β -selinene
52.89	0.65	estragole
53.69	1.52	1-phenylaziridine
54.15	5.20	α -terpinylacetate
54.24	2.83	terpineol
54.55	0.21	geranylformate
55.41	0.38	nerylacetate
56.90	1.92	geranylacetate
58.58	0.90	myrtenol
60.75	1.26	geraniol
65.04	0.46	β -caryophylleneoxide

Experimental design

The study material, quail chicks, was obtained as a result of a 17-day incubation period by loading fertile eggs into incubators. In the study, 5-day-old healthy chicks were individually weighed and

randomly distributed to the experimental groups. It was ensured that the starting average body weight was similar to each other in the experimental groups. In the study, four experimental groups and a total of 40 (4x10) quail (*Coturnix coturnix japonica*) chicks were used. In the study, LPS (*E. Coli* O55-B5, Sigma) was dissolved in a phosphate buffer solution. Quails were fed up to 36 d-old. Study groups were control (commercial chick starter diet), M group (commercial chick starter diet +200 mg/kg Murt volatile oil), MLPS group (commercial chick starter diet + 200 mg/kg Murt volatile oil + 1 mg/kg-17th day and 7.5 mg/kg-24th day intraabdominal LPS administered group) and LPS (commercial chick starter diet + 1 mg/kg-17th day and 7.5 mg/kg-24th day intraabdominal LPS administered group).

For the experimental groups of the study, the feeds were prepared weekly. The quails in the study groups were fed ad libitum. During the study, the feeder and drinker were checked at least twice a day, and fresh water were provided. In the study, quails were individually weighed every week with precision scales (0.01 g) to determine weekly live weights, and the weighings were concluded with the weight on the 36th day. Gender discrimination was determined according to the feather characteristics of the breast area of the quails. Quails with spotted chest areas are classified as female, quails without spots and plain brown are classified as males.

The feed intake of the quails in the study experimental groups was determined weekly. Weekly feed consumption was calculated by subtracting the remaining feed from the amount of feed given. The feed conversion ratio was calculated by dividing the amount of feed consumed by the body weight gain.

To determine the slaughter characteristics, quails close to the group average in the experimental groups were separated for slaughter. A total of 35 (9-10-6-10) quails were slaughtered, 19 female and 16 male quails. Slaughter body weight, full hot carcass weight, hollow hot carcass weight, breast+back+neck+wing weight, thigh weight, liver weight, heart weight, gizzard weight and abdominal fat weight were determined as carcass characteristics.

Determining the proportional values of slaughter and carcass characteristics in experimental groups;

Full hot carcass yield (%) = (Full hot carcass weight / Slaughter weight) x 100

Hollow hot carcass yield (%) = (Hollow hot carcass weight / Slaughter weight) x 100

Leg ratio (%) = (Thigh weight / Full hot carcass weight) x 100

Breast+back+neck+wing ratio (%) = (Chest+back+neck+wing weight / Full hot carcass weight) x 100

Liver ratio (%) = (Liver weight / Full hot carcass weight) x 100

Heart rate (%) = (Heart weight / Full hot carcass weight) x 100

Gizzard ratio (%) = (Gizzard weight / Full hot carcass weight) x 100

Determination of biochemical parameters

In the study, blood and liver samples were taken from all slaughtered quails for biochemical parameters. TAS and TOS analyzes (Rel assay-TR) of blood and liver samples were carried out by

following the methods of Kucukgul and Erdogan (2014) using a ready-made commercial kit, and the Oxidative Stress Index (OSI) in the experimental groups was calculated with the ratio of these two values.

Histopathological Examination

Liver and intestinal samples of the necropsied quails were taken and fixed in 10% buffered formalin solution. After routinely passing through a series of alcohol and xylol, 5 µm thick sections were taken by embedding in paraffin. Tissue samples (Luna, 1968) stained with hematoxylin and eosin (HE) were examined under a light microscope (Olympus BX50-F4, Tokyo, Japan) and photographed with a digital imaging system (Olympus DP12-BSW, Tokyo, Japan).

In the histopathological examinations of HE-stained sections, the presence of lesions such as congestion, necrosis, mononuclear cells, heterophile granulocyte infiltrations in the liver, hyperplasia, mononuclear cell infiltrations and lamina epithelial degeneration and necrosis in the liver were evaluated according to their severity by scoring as Kanat and Ortatatlı (2011) did. In each section, 10 different areas were selected at 200x magnification, cells were counted and their averages were calculated. In the general evaluation, it was defined as no lesion (0), mild lesion/few cells (1), moderate lesion/moderate number of cells (2), and severe lesion/many cells (3).

Average mononuclear cell infiltrations at 200x magnification in 5 different areas in each section, if no cells (0), 1-20 cells (1), 21-50 cells (2), more than 50 (3). For heterophile granulocyte infiltrates, if there is no cell (0), 1-5 cells (1), 6-20 cells (2), more than 20 (3) were calculated. The degree of hepatocellular vacuolization, which is characterized by solitary or multiple clear, well-defined small or large droplets of lipoidosis, was scored according to the following criteria: (0) absent or very rare vacuolization, (1) vacuolization of any size involving less than 50% of hepatocytes, (2) vacuolization involving more than 50% of hepatocytes and (3) diffuse vacuolization involving vacuoles of variable size (Trott et al. 2014). Considering the averages, lesions in the liver and intestine were evaluated as indicated in Table 5.

Statistical analyses

IBM SPSS Statistics Version 22.0 (IBM Inc, Chicago, IL, USA) package program was used in the statistical analysis of the data. The descriptive statistical mean was used for animal performance parameters, feed and blood analysis. For these variables, the One Way Anova test was used to compare the groups, and the Duncan test was used to determine the difference between the groups. Relevant variables for histopathological values are summarized as median and minimum - maximum. The Kruskal Wallis test was used to compare the overall difference between more than two groups. The Mann-Whitney U test with Bonferroni correction was used for pairwise comparisons of the groups for cases found to be significant in these comparisons. Statistical significance level was taken as 0.05 in all F-tests.

Results

Considering the proportional sizes of the main components determined in Murt volatile oil, the main components appears to be eucalyptol (38.44%), α -pinene (25.13%), linalool (5.42%), α -terpinylacetate (5.20%), respectively.

Average body weights of quails in the experimental groups are presented in Table 2. In the study, a significant difference was found between the groups in terms of body weight only on the 33rd day ($P<0.05$). It was determined that the average body weight of quails on the 33rd day was higher in the control and LPS groups than in the M and MLPS groups.

Table 2. Experimental groups quail body weight (g)

Characteristics	Control	M	MLPS	LPS	SEM	P
5 th day starting live weight	29.28	30.58	31.50	29.57	0.561	0.495
12 th day Body Weight	71.34	66.68	73.42	72.65	1.206	0.215
19 th day Body Weight	124.08	115.94	123.75	127.31	1.462	0.058
26 th day Body Weight	171.48	162.14	164.01	173.29	2.035	0.163
33 rd day Body Weight	207.13 ^a	190.08 ^b	189.24 ^b	207.62 ^a	2.859	0.035

^{a,b}: The same superscripts denote significant pairwise differences.

Average feed consumption, body weight gain and feed conversion rates of quails in the study groups are given in Table 3. The difference between the groups in terms of the characteristics determined was significant ($P<0.001$).

Table 3. Body weight gain, feed consumption, and feed conversion rate values of quails in the experimental groups

Characteristics	Body weight gain (g)					
	Control	M	MLPS	LPS	SEM	P
5 th - 19 th days	94.81 ^b	85.36 ^d	92.25 ^c	97.74 ^a	0.003	<0.001
19 th -33 rd days	83.05 ^a	74.15 ^c	65.49 ^d	80.31 ^b	0.003	<0.001
5 th -33 rd days	177.86 ^b	159,51 ^c	157,74 ^d	178,06 ^a	0.003	<0.001
Characteristics	Feed Intake (g)					
	Control	M	MLPS	LPS	SEM	P
5 th - 19 th days	257.50 ^a	177.50 ^d	235.50 ^b	229.50 ^d	0.323	<0.001
19 th -33 rd days	397.50 ^a	345.50 ^d	377.50 ^c	389.25 ^b	0.352	<0.001
5 th -33 rd days	655.50 ^a	523.50 ^d	613.50 ^c	619.50 ^b	0.323	<0.001
Characteristics	Feed conversion ratio, g/g					
	Control	M	MLPS	LPS	SEM	P
5 th - 19 th days	2.72 ^a	2.08 ^d	2.55±0.01 ^b	2.35±0.01 ^a	0.004	<0.001
19 th -33 rd days	4.79 ^c	4.66 ^d	5.77±0.01 ^a	4.85±0.01 ^b	0.005	<0.001
5 th -33 rd days	3.69 ^b	3.28 ^d	3.89±0.00 ^a	3.48±0.00 ^c	0.002	<0.001

^{a,b,c,d}: The same superscripts denote significant pairwise differences.

In the study, the difference between the groups was insignificant ($P>0.05$) in terms of slaughter and carcass piece values, except for the mean breast+back+neck+wing ratio ($P<0.05$) of the quails in the experimental groups (Table 4).

Table 4. Slaughter and carcass part characteristics of experimental groups of quails.

Characteristics	Control	M	MLPS	LPS	SEM	P
Slaughter Body Weight (g)	222.26	204.66	198.55	210.69	3.756	0.184
Full carcass weight (g)	167.05	153.70	150.39	157.50	2.975	0.254
Hollow carcass weight (g)	138.54	128.79	124.66	130.48	2.241	0.211
Heart weight (g)	2.04	1.91	1.80	1.95	0.051	0.466
Liver weight (g)	6.54	5.51	5.99	6.20	0.289	0.601
Gizzard weight (g)	5.43	4.26	4.86	5.13	0.161	0.058
Chest+back+neck+wing weight (g)	85.1	78.50	74.20	77.2	1.496	0.099
Leg Weight (g)	48.36	44.02	43.06	46.09	0.808	0.127
Abdominal fat weight (g)	1.96	2.08	2.30	2.27	0.171	0.882
Full carcass Yield (%)	75.12	75.14	75.68	74.68	0.163	0.251
Hollow carcass Yield (%)	62.27	63.11	62.89	61.97	0.334	0.555
Heart rate (%)	1.23	1.24	1.19	1.24	0.022	0.878
Liver rate (%)	3.92	3.54	3.92	3.89	0.140	0.680
Gizzard rate (%)	3.26 ^a	2.74 ^b	3.22 ^a	3.27 ^a	0.078	0.045
Chest+back+neck+wing rate (%)	51.04 ^a	51.11 ^a	49.34 ^{ab}	49.05 ^b	0.300	0.025
Leg rate (%)	28.92	28.71	28.69	29.35	0.220	0.661
Abdominal fat rate (%)	1.18	1.33	1.50	1.45	0.104	0.706

^{a,b}: The same superscripts denote significant pairwise differences.

Blood and liver OSI values are given in Table 5. In the study, the difference between the groups in terms of blood OSI value was significant ($P < 0.05$), with the highest LPS group (14.76), the lowest murt added M and MLPS groups (2.44 and 4.65). While the liver OSI value was high in the control and LPS groups without murt supplementation, it was low in the M and MLPS groups with murt supplementation ($P > 0.05$).

Table 5. Oxidative Stress Index values in the experimental groups

Characteristics	n (pcs)	Control	M	MLPS	LPS	SEM	P
Blood OSI Value	6	8.67 ^{ab}	2.44 ^b	4.65 ^b	14.76 ^a	1.393	0.027
Liver OSI Value	6	9.13	7.87	7.74	8.24	0.291	0.355

a,b: The same superscripts denote significant pairwise differences.

Macroscopically, the livers of the animals in the K, M, MLPS and LPS groups were found to be pale yellowish-white in color, crispy and swollen to varying degrees. In the histopathological examination of the liver, dissociation, enlargement of the sinusoids, and congestion were commonly observed, while hydropic degeneration, necrosis, mononuclear cell infiltrations and heterophile granulocytes, especially around the v.centralis and portal area were observed to be more intense. In the cytoplasm of

hepatocytes, oil vacuoles with varying degrees, sharp edges, and commonly small and large droplets were observed (Figure 1A-G). F In the intestines, hyperplasia especially in the epithelium, degeneration and necrosis in the lamina epithelial mononuclear cell infiltrations as well as hyperemia, vacuoles in the villus epithelium and a few heterophile granulocyte infiltrations were observed (Figure 1H-I).

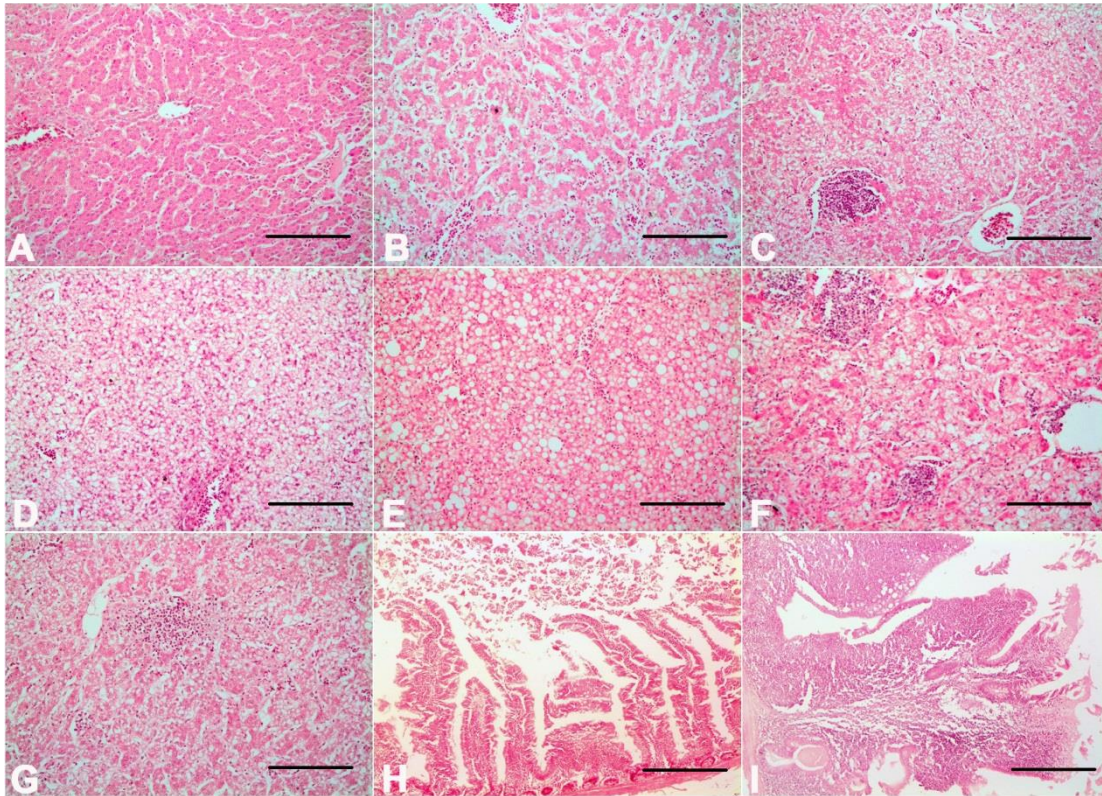


Figure 1. A) Normal liver tissue. B) 1. Congestion, enlargement of sinusoids, fatty vacuoles in hepatocytes, liver, 1st degree. C) Congestion, fatty vacuoles in hepatocytes, degeneration and necrosis, focal cell infiltration, liver, 2nd degree. D) Diffuse adiposity, liver, 3rd degree. E) Large and small dropsy lipoidosis, liver, 2nd degree. F) Congestion, multifocal degeneration, necrosis, liver. G) Multifocal degeneration and necrosis, fat vacuoles, liver. H) Hyperplasia of the bases of the villus, degeneration and desquamation of the lamina epithelial, intestine. I) Lamina epithelial necrosis, cell infiltration in the propria, HE staining, bar= 100 μ m (A-G), 200 μ m (H, I).

Lesions such as fatty liver, congestion, necrosis, mononuclear cells, heterophile granulocyte infiltrations, small intestine hyperplasia, mononuclear cell infiltrations and lamina epithelial degeneration and necrosis of the quails in the experimental groups and their level scores are statistically presented in Table 6.

Table 6. Descriptive statistics and P value for experimental groups

Characteristics	Control	M	MLPS	LPS	P value
Liver Congestion	1.00 (1-2)	2.00 (1-2)	2.00 (1-2)	1.00 (1-2)	0.376
Liver Necrosis	0.00 (0-3)	1.00 (1-3)	2.00 (0-3)	1.50 (0-2)	0.266
Liver lipoidosis	1.00 (0-3)	2.00 (0-3)	1.00 (0-2)	1.00 (0-2)	0.292
Liver Cell Infiltration	0.00 (0-2)	1.00 (0-2)	1.00 (0-2)	0.50 (0-2)	0.315
Intestinal Hyperplasia	2.00 (1-3)	2.00 (1-2)	2.00 (1-2)	2.00 (1-3)	0.192
Intestinal Lamina epithelial degeneration and necrosis	0.00 (0-1)	1.00 (1-2)	2.00 (0-3)	1.00 (0-2)	0.001
Intestinal Cell Infiltration	0.00 (0-1)	0.00 (0-2)	1.00 (0-2)	1.00 (0-2)	0.017

Although there was a numerical difference between the groups in terms of fatty liver, congestion, necrosis and cell infiltration, the findings were statistically insignificant ($P > 0.05$) in 4 groups.

When the intestinal hyperplasia of quails in the experimental groups was examined, the difference between the groups was not statistically significant ($P > 0.05$). However, the level of degeneration and necrosis in the lamina epithelial between the groups was significant ($P < 0.001$). The difference between the K group and the MLPS group is significant for lamina epithelial degeneration and necrosis in the intestine. Also, when the intestinal cell infiltration level values in the experimental groups were examined (Table 6), the difference between the groups was found to be significant ($P < 0.01$). According to the multiple comparison test performed to determine the groups causing this difference, the median value of the LPS group was higher than the K and M groups ($p < 0.05$).

The findings for liver congestion, liver necrosis, fatty liver and liver cell infiltration did not yield statistically significant results in the 4 groups ($p > 0.05$) (Table 6). The comparison of 4 groups for intestinal hyperplasia was not statistically significant ($p < 0.192$). However, degeneration necrosis in intestinal lamina epithelialis was significant ($p < 0.001$). The difference between the K group and the MLPS group was significant for intestinal lamina epithelial degeneration and necrosis ($p < 0.001$). This significance is due to the fact that the MLPS median value is higher than that of the K group. Finally, the difference was significant for intestinal cell infiltration ($p < 0.017$). According to the multiple comparison test performed to determine the groups causing this difference, the median value of the LPS group was higher than the K and M groups ($p < 0.041$ and 0.046).

Discussion and Conclusion

Although the initial body weight values were higher in the M and MLPS groups to which murt was added, compared to the control and LPS groups, they were found to be lower in other periods when the body weights were determined (Table 3). In addition, especially on the 33rd day of the study, it was determined that the body weight value of the quails in the M and MLPS groups was significantly lower than the control and LPS group quails ($P < 0.05$). However, it was reported that the addition of

murt oil to Japanese quail feed (1000 mg/kg/day, Biricik et al. 2012) and broiler feed (500 mg/kg, Sadeghi et al. 2013; Goudarzi et al. 2016) had a positive effect as a potential growth promoter. Animal performance characteristics and the dose difference of the herbal antioxidant added to the basal diet can be expressed as an important reason for the differences in the study results.

In the current study, the amount of feed consumption was found to be lower in the groups (M and MLPS) to which murt oil was added to the diet than in the control and LPS groups (Table 3). In addition, improvement in feed conversion ratio was significantly better in the M group with murt supplementation than in the other groups. Similarly, Biricik et al. (2012), Sadeghi et al. (2013) and Salehifar et al. (2017) reported an improvement in feed efficiency of quail and chicks fed with murt oil added the diet. Similarly, Goudarzi et al. (2016) stated that the addition of 500 mg/kg murt oil extract to the diet reduced feed intake and improved feed conversion ratio of Ross and Cobb broiler chickens. It was found that the values of the groups with the addition of murt oil (M and MLPS) were numerically lower than the groups without the addition of murt oil (K and LPS) in terms of slaughter body weight, full, hollow carcass weight and edible internal organ weights. However, in terms of abdominal fat weight, it was found that MLPS and LPS groups were higher than the other groups (Table 4). The abdominal fat weight result of the study is similar to the result of Sadeghi et al (2013) that it was higher in the group fed with murt oil+AFB1 supplemented feed than in the group fed with only murt. Contrary to the findings of the study, Biricik et al. (2012) stated that quail slaughter body weight, hot carcass weight, heart weight, liver weight and gizzard weight were numerically higher in the groups with 1000 and 2000 mg/kg/day murt oil added. Again, Salehifar et al. (2017) reported that carcass weight, liver weight, wing weight and gizzard weight were positively affected in groups fed with different doses of murt oil.

In the study, it was determined that the blood OSI value of the groups with murt oil added was lower than the groups without murt oil. Likewise, liver OSI value was found to be numerically lower in groups with added murt than in groups without murt (Table 5). It has been stated by the results of the study that the addition of herbal additives to the diet improves blood oxidative stress parameters, and the addition of different amounts of sumac (Kırar et al., 2020) and peppermint oil (Doğan et al., 2020) to quail feed reduces OSI values in the blood. Alishah et al. (2013) reported that sumac supplementation did not affect blood antioxidant values during the growth period.

In the histopathological examination, although there are numerical differences in terms of fatty liver, congestion, necrosis and cell infiltrations, the results obtained are statistically insignificant. Despite the nutritional difference between the groups in the present study, liver morphology was not significantly affected. It was determined that the addition of murt increased intestinal cell infiltration and degeneration and necrosis in the lamina epithelium in quails compared to the control group. Murt addition significantly increased intestinal degeneration and necrosis and caused intestinal inflammation in the groups (Table 6). Some researchers have reported that in fatty liver hemorrhagic syndrome, bleeding and hematomas in the subcapsular and parchyma of the liver, small and large

droplets of fat in hepatocytes, degeneration and necrosis, fibrosis and cell infiltrations in the portal areas occur (Spurlock and Savage, 1993; Trott et al. 2014). In this study, hydropic degeneration in the liver, multifocal necrosis and cell infiltrations in the parenchyma, as well as small and large droplet lubrication of varying severity, were observed, but fibrosis, cell infiltration in the portal area, subcapsular hemorrhage and hematomas were not observed. Studies on the pathological lesions of murt in organs are very limited. The small intestine is the organ where the digestion and absorption of dietary fats take place. Bile salts and phospholipids play an important role in the emulsification of dietary fats (Magubane et al. 2013). Volatile oils of some species of the Myrtaceae family are used as an antioxidant, antimicrobial, antidiarrheal, analgesic, anti-inflammatory and to reduce blood cholesterol (Stefanello et al. 2011). However, in this study, an increase in cell infiltration was observed in Murt added groups. It has been reported that quails are relatively resistant to infections and do not show specific symptoms. It is stated that hyperemia can be seen in the intestinal mucosa. It has been reported that there may be mucus similar to coffee (Monte et al. 2015). In this study, macroscopic and histopathological hyperemia was not observed in the small intestines, cell infiltration increased in other groups with murt added compared to the control group, and degeneration and necrosis of the epithelium were detected more prominently. In our study, it was concluded that these histopathological lesions in the intestines were due to infection rather than the addition of murt.

In the study, it was determined that the addition of murt to quail compound feed under oxidative stress had a positive effect on growth performance, feed intake and feed efficiency. It was also found that stress factors have a positive effect on the oxidative stress value. Therefore, it has been determined that the use of murt volatile oils as an additive to the diet of quails under oxidative stress can be applied to reduce feed intake and reduce the effect of stress factors without causing weakness in animal performance.

Statement of Conflict of Interest

The author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author's is equal.

References

- Aksu T., Sarıpinar AD., Kaya DA., Duran N., Önel SE., Canoğulları S. The response of Japanese quails to dietary *Thymbra spicata* L. essential oil. *Rom Biotech Lett* 2018; 23(5): 13909-13917
- Alishah AS., Daneshyar M., Aghazadeh A. The effect of dietary sumac fruit powder (*Rhus coriaria* L.) on performance and blood antioxidant status of broiler chickens under continuous heat stress condition. *Italian Journal of Animal Science* 2013; 12(1): 6.

- Baytop T. Therapy with medicinal plants in Turkey (Past and Present). Nobel Tıp Kitapevleri Press, Istanbul 1999, pp:371.
- Bento MHL., Ouwehand AC., Tiihonen K., Lahtinen S., Nurminen P., Saarinen MT., Schulze H., Mygind T., Fischer J. Essential oils and their use in animal feeds for monogastric animals- Effects on feed quality, gut microbiota, growth performance and food safety: a review. *Veterinari Medicina* 2013; 58(9): 449–458.
- Biricik H., Yesilbag D., Gezen SS., Bulbul T. Effects of dietary myrtle oil (*Myrtus communis* L.) supplementation on growth performance, meat oxidative stability, meat quality and erythrocyte parameters in quails. *Revue Med. Vet* 2012; 163(3): 131-138.
- Çimrin T., Demirel M. Yumurtacı tavuk yemlerine biberiye (*rosmarinus officinalis* l.) uçucu yağ ilavesinin performans, yumurta kalite kriterleri ve yumurta sarısı lipit oksidasyonu üzerine etkisi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; 4(2): 113-119.
- Doğan DB., Daş A., Koyuncu İ., Bilal O., Kırar N., Çetin M., Tufan M., Şengül AY. Bildircin rasyonlarına nane yağı ilavesinin besi performansı, et kalitesi, karkas kompozisyonu ve oksidatif stres belirleyicileri üzerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2020; 7(1): 186-194.
- Dönmez IE., Salman H. Yaban mersini (*Myrtus communis* L.) yaprak ve meyvelerinin uçucu bileşenleri. *Turkish Journal of Forestry* 2017; 18(4): 328-332.
- Goudarzi M., Samiei I., Nanekarani S., Nasrolahi F. The effect of *Myrtus communis* oil extract on growth performance and immune responses in Ross and Cobb strain broilers. *J. Adv. Agri. Technol* 2016; 3(1): 10-14.
- Gül M., Yılmaz E., Apaydin YB., Sezmis G., Kaya A., Timurkaan S., Önel SE., Tekce E. Effects of oregano essential oil (*Origanum syriacum* L.) on performance, egg quality, intestinal morphology and oxidative stress in laying hens. *European Poultry Science* 2019; 83(290): 1-15.
- Halawa AA., El-Adl MA., Hamed MF., Balboula AZ., Elmetwally MA. Lipopolysaccharide prompts oxidative stress and apoptosis in rats' testicular tissue. *Journal of Veterinary Healthcare* 2018; 1(3): 20.
- Kallapura G., Hernandez-Velasco X., Pumford NR., Bielke LR., Hargis BM., Tellez G. Evaluation of respiratory route as a viable portal of entry for *Salmonella* in poultry. *Veterinary Medicine: Research and Reports* 2014; 5: 59.
- Kanat O., Ortatli M. Pathological and microbiological investigations on alimentary system lesions of dogs: Oral, oesophagus and stomach. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2011; 10(22): 2892-2901.
- Kırar N., Bilal O., Daş A., Koyuncu İ., Avcı M., Bozkaya F., Baytur G., Tufan T. Bildircin rasyonlarına farklı oranlarda sumak (*rhus coriaria* l.) ilavesinin besi performansı, oksidatif stres parametreleri ve et kalitesi üzerine etkisi. *Harran Üniv Vet Fak Derg* 2020; 9(2): 177-182.

- Kucukgul A., Erdogan S. Caffeic acid phenethyl ester (CAPE) protects lung epithelial cells against H₂O₂ induced inflammation and oxidative stress. *Health Med* 2014; 8: 329-38.
- Libby P. Inflammatory mechanisms: the molecular basis of inflammation and disease. *Nutrition reviews* 2007; 65(3): 140-146.
- Luna LG. Manual of histologic staining methods of the armed forces institute of pathology. 3rd Edn. McGraw-Hill Book Company, New York, USA 1968; pp 258.
- Magubane MM., Lembede BW., Erlwanger KH., Chivandi E., Donaldson J. Fat absorption and deposition in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) fed a high fat diet. *Journal of the South African Veterinary Association* 2013; 84(1): 7.
- Maldonado RF., Sá-Correia I., Valvano MA. Lipopolysaccharide modification in Gram-negative bacteria during chronic infection. *FEMS Microbiology Reviews* 2016; 40(4): 480-493.
- Martin T., Rubio B., Villaescua L., Fernandez L., Diaz AM. Polyphenolic compounds from pericarps of *Myrtus communis*. *Pharm. Biol* 1999; 37: 28-31.
- Mavi K., Hacbekir H., Uzunoğlu F., Türkmen M. The use of volatile compounds as an alternative method in pepper breeding (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*). *Ciência Rural* 2021; 51.
- Monte GLS., Cavalcante DG., Oliveira JBS., Lima EF. Pathological alterations in carcasses and viscera of Japanese quail (*Coturnix japonica* -Temminck & Schlegel, 1849) of commercial breeding. *Acta Veterinaria Brasilica* 2015; 9(3): 205-211.
- Nikaido H. Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 2003; 67(4): 593-656.
- National Research Council. Nutrient requirements of poultry: 1994. National Academies Press.
- Ölmez M., Şahin T., Karadağoğlu Ö., Karadağ SE., Adıgüzel IS., Kırmızıbayrak T., Yörük MA. The impact of an essential oil mixture on growth performance and intestinal histology in native Turkish geese (*anser anser*). *Kafkas Univ Vet Fak Derg* 2020; 26(5): 625-631.
- Önel SE., Aksu T. The Effect of Thyme (*Thymbra spicata* L. var. *spicata*) essential oil on the antioxidant potential and meat quality of Japanese quail fed in various stocking densities. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi* 2019; 14(2): 129-136.
- Önel SE., Aksu T. Can thyme (*Thymbra spicata* L. var. *spicata*) volatile oil alleviate the detrimental effects of high stocking densities in Japanese quail?. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2020; 44(5): 1024-1031.
- Özsoy B., Ölmez M., Karadağoğlu Ö., Şahin T. Determination of the effect of mixture of essential oil and organic acid containing at different levels on broiler rations on fattening performance, carcass parameters and some internal organ weights. *Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg* 2017; 57(2): 77-82.
- Petricević V., Lukic M., Skrbic Z., Rakonjac S., Doskovic V., Petričević M., Stanojkovic A. The effect of using rosemary (*Rosmarinus officinalis*) in broiler nutrition on production parameters,

- slaughter characteristics, and gut microbiological population. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2018; 42: 658-664.
- Sadeghi AA., Saei MM., Nikkhah A., Ahmadvand H. The effect of *Myrtus communis* oil extract on growth performance, serum biochemistry and humoral immune responses in broiler chicks fed diet containing aflatoxin B1. *Archiv Tierzucht* 2013; 56(84): 842-850.
- Salehifar E., Abbasi M., Bahari-Kashani R. Effects of Myrtle (*Myrtus communis*) essential oil on growth performance, carcass characteristics, intestinal morphology, immune response and blood parameters in broiler chickens. *J. Livestock Sci.* 2017; 8: 63-71.
- Sargin SA. Mersin'in bozyazı ilçesinde gıda olarak tüketilen yabancı bitkiler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 24(3): 152-169.
- Spurlock ME., Savage JE. Effect of dietary protein and selected antioxidants on fatty liver hemorrhagic syndrome induced in japanese quail. *Poultry Science* 1993; 72: 2095-2105.
- Stefanello MEA., Pascoal ACRF., Salvador MJ. Essential oils from neotropical myrtaceae: chemical diversity and biological properties. *Chemistry & Biodiversity* 2011; 8: 73-94.
- Şahin T., Adıgüzel AH., Ölmez M., Karadağoğlu Ö. The effects of supplementation different levels oregano oil (*origanum vulgare*) and carob (*ceratonia siliqua* l.) powder mixed on growing performance, carcass traits and some internal organ weights in broilers. *J. Anim. Prod.* 2020; 61(2): 101-107.
- Temamoğulları F., Garip Z., Yılmaz TY. Kanatlı beslenmesinde antibiyotiklere alternatif bazı tıbbi bitkiler. *Bulletin of Veterinary Pharmacology and Toxicology Association* 2019; 10(3): 106-114.
- Trott KA., Giannitti F., Rimoldi G., Hill A., Woods L., Barr B., Anderson M., Mete A. Fatty liver hemorrhagic syndrome in the backyard chicken: A retrospective histopathologic case series. *Veterinary Pathology* 2014; 51(4): 787-795.
- Yeşilbağ D. Yumurtacı bıldırcın rasyonlarına biberiye ve rezene uçucu yağı ilavesinin performans ve yumurta kalite parametreleri üzerine etkisi. *Ankara Üniv Vet Fak Derg* 2017; 65: 413-418.
- Whitfield C., Trent MS. Biosynthesis and export of bacterial lipopolysaccharides. *Annual review of biochemistry* 2014; 83: 99-128.
- Zhai H., Liu H., Wang S., Wu J., Kluentner AM. Potential of essential oils for poultry and pigs. *Animal Nutrition* 2018; 4: 179-186.

Modal Mantık için Algoritmik Tekabül

Zafer ÖZDEMİR^{1*}

¹Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 34398, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0001-7090-373X>

*Sorumlu yazar: zafer.ozdemir@nisantasi.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.08.2021

Kabul tarihi: 09.11.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Modal mantık

Scan algoritması

Sqema algoritması

Modal mantık formülleri Kripke çatılar üzerinde ikinci mertebeden özellikler ifade etmektedir. Pek çok durumda modal mantık formüllerine karşılık gelen birinci mertebeden mantık formülleri etkili algoritmalar yardımı ile hesaplanmaktadır. Bu alandaki ilk araştırma makalesi, 1975 yılında H. Sahlqvist tarafından yazılan "Modal mantık için birinci ve ikinci dereceden semantikler için tekabül ve tamlık" idi. Yaptığı çalışmada modal mantık formüllerinin belirli bir sınıfını tanımlayarak, bu sınıfın çatılar üzerinde birinci mertebeden koşullar tanımladığını ve bu koşulların da geliştirdiği tekniği yardımı ile modal mantık formüllerine tekabül eden birinci mertebeden formülleri hesaplamıştır. Ancak bir modal mantık formülüne karşılık gelen birinci mertebeden mantık formülü her zaman bulunmayabilir. Bazı durumlarda bir modal mantık formülü ikinci mertebeden mantık formülüne tekabül edebilir. Bu tip durumlarda Sahlqvist tekniği etkinliğini kaybetmektedir. Literatürde bir modal mantık formülüne tekabül eden birinci ve ikinci mertebeden mantık formülünü hesaplamaya yarayan farklı algoritmalar ve teknikler geliştirilmiştir. Bu algoritmalar içinde öne çıkan iki çalışma bulunmaktadır. Bu algoritmalarından biri Gabbay ve Ohlbach (1992) tarafından geliştirilen, temeli kısıtlama çözümleme ve tekniğine dayanan SCAN algoritması diğeri ise Condradie ve ark. (2006) tarafından geliştirilen, modal formüller üzerinde direkt olarak çalışan SQEMA algoritmasıdır. Bu çalışmada SCAN ve SQEMA algoritmaları ayrıntılı olarak incelenip, karşılaştırması yapılacaktır.

Algorithmic Correspondence for Modal Logic

Research Article

Article History:

Received: 11.08.2021

Accepted: 09.11.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Modal logic

Scan algorithm

Sqema algorithm

ABSTRACT

Modal logic formulas express second-order properties on Kripke frameworks. In many cases, first-order logic formulas corresponding to modal logic formulas are calculated with the help of efficient algorithms. The first research paper in this field was "Correspondence and completeness for first and second order semantics for modal logic" written by H. Sahlqvist in 1975. In his study, he defined a certain class of modal logic formulas, this class defines first-order conditions on frames, and with the help of the technique he developed for these conditions, he calculated first-order formulas corresponding to modal logic formulas. However, a first-order logic formula corresponding to a modal logic formula may not always be found. In some cases, a modal logic formula may correspond to a second-order logic formula. In such cases, the Sahlqvist technique loses its effectiveness. In the literature, different algorithms and techniques have been developed to calculate the first and second order logic formula corresponding to a modal logic formula. There are two prominent studies among these algorithms. One of these algorithms is the SCAN algorithm developed by Ohlbach and Gabbay, which is based on constraint analysis and technique. The other is the SQEMA algorithm developed by Condradie et al., (2006), which works directly on modal formulas. In this

study, SCAN and SQEMA algorithms will be examined in detail and compared.

To Cite: Özdemir Z. Modal Mantık için Algoritmik Tekabül. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):401-416.

Giriş

Modal mantık, çok basit bir ifadeyle, birinci mertebeden mantığa bir ya da daha fazla operatör eklenerek oluşturulan mantık olarak tanımlanabilir (Chellas, 1980). Birinci mertebeden mantığın dili ifade gücünün yeterli olmaması nedeni ile kuvvetli matematiksel yapıların oluşturulmasına engel olur. Modal mantık birinci mertebeden mantıkla karşılaştırıldığında sahip olduğu operatörler sayesinde daha etkili bir ifade gücüne sahiptir (Blackburn ve ark., 2001). Modal mantıkta birinci mertebeden tanımlanabilirlik ve tamlığın en genel sonuçlarından biri Sahlqvist teoremidir. Sahlqvist, 1975 tarihli makalesinde, Sahlqvist formülleri olarak adlandırılan modal formüllerin belirli bir sınıfını tanımlayarak, bu sınıfın Kripke çatılar üzerinde birinci mertebeden koşulları tanımladığını ve bu koşulların modal formüllerden etkili bir biçimde hesaplanabildiğini göstermiştir. Ayrıca tüm Sahlqvist formüllerinin kanonik formüller olduğunu ve Sahlqvist formüllerinin kanonik çatılar sınıfına göre geçerli olduğunu ispatlamıştır. Bazı durumlarda bir modal mantık formülü ikinci mertebeden mantık formülüne karşılık gelebilir (Vaananen, 2001). Bu tip durumlarda Sahlqvist tekniği etkinliğini kaybetmektedir. Bu durum daha etkili tekniklerin geliştirilmesine sebep olmuştur. Bir modal formüle karşılık gelen birinci mertebeden formül hesaplanırken evrensel monadik ikinci mertebeden niceleyicilerin elenmesi o formülün bir çatıda geçerliliğini, varlıksal monadik niceleyicilerin elenmesi formülün sağlanabilirliğini ifade eder. Varlıksal monadik ikinci mertebeden niceleyicilerin elenmesi yöntemi ile ilgili en bilinen algoritma SCAN algoritmasıdır. Gabbay ve Ohlbach (1992) tarafından geliştirilen SCAN algoritmasının ana fikri Ackermann'ın (1972) makalesinde görünmektedir. SCAN algoritmasının geliştirilmesi katkı da bulunan bir diğer isim Szalas yaptığı çalışmalarda birinci mertebeden aksiyomlara karşılık gelen modal aksiyomlar üzerinde çalışmıştır (1993, 1999). Bir diğer teknik ise SQEMA algoritmasıdır. SQEMA ikinci mertebeden niceleyicilerin elenmesine yönelik geliştirilen bir algoritmadır. SQEMA algoritması Ackermann lemmasının modal versiyonunu kullanarak diğer algoritmaların aksine modal formüller üzerinde direkt olarak çalışır. Bu nedenden dolayı diğer algoritmalarından çok daha etkili ve yalın bir algoritmadır. Bu çalışmada SCAN ve SQEMA algoritmaları ayrıntılı olarak incelenip, bu algoritmaların Sahlqvist formüllerine göre tamlığı ispatlanacak ve algoritmaların karşılaştırması yapılacaktır.

Bu bölümde SCAN algoritmasında kullanılan temel tanımlar ve kavramlar verilecek. (Hustadt ve ark., 2004) SCAN algoritmasının adımları ayrıntılı bir şekilde sunularak, algoritmanın etkililiği örneklerle açıklanacaktır. Bölüm sonunda algoritmanın sınırları verilecek ve SCAN algoritmasının Sahlqvist formüllerine göre tamlığı kanıtlanacaktır.

L_1, \dots, L_n önerme değişkenleri olmak üzere $\{L_1, \dots, L_n\}$ sonlu kümesine *cümle* denir. C ve D cümle ve P bir önerme değişkeni olmak üzere çözünme *kuralı*

$$\frac{P(s_1, \dots, s_n) \vee C}{\neg P(t_1, \dots, t_n) \vee D} \\ C \vee D \vee s_1 \neq t_1 \vee \dots \vee s_n \neq t_n$$

dir. Burada iki cümle P üzerinden silinmiştir ve $C \vee D$ *çözücü* olarak adlandırılır. C bir cümle ve P bir önerme değişken olmak üzere *faktörizasyon kuralı*

$$\frac{P(s_1, \dots, s_n) \vee P(t_1, \dots, t_n) \vee C}{P(s_1, \dots, s_n) \vee C \vee s_1 \neq t_1 \vee \dots \vee s_n \neq t_n}$$

dir. Faktörizasyon kuralı yalnızca farklı cümleler arasında yapılabilir.

Prenex formdaki birinci mertebeden bir formüldeki varlıksal niceleyiciler sistematik olarak elenerek yerlerine yeni sabit sembolleri ve fonksiyon sembolleri atanması işlemine *Skolemleştirme* adı verilir. Yeni sabit sembollerine ve fonksiyon sembollerine sırasıyla *Skolem sabitleri* ve *Skolem fonksiyonları* adı verilir. $\exists x \forall y \forall z A$ birinci mertebeden mantığın bir formülü ve c Skolem sabiti olmak üzere birinci mertebeden formülün Skolemizasyon sonucu $\forall y \forall z A[c/x]$ dir. $\forall y \exists z P(y, z)$ birinci mertebeden mantığın bir formülü ve f Skolem fonksiyonu olmak üzere formülün Skolemizasyon sonucu $\forall y P(y, f(y))$ dir.

Tanım (SCAN Algoritması)

SCAN algoritmasında girdi: $\alpha = \exists P_1, \dots, P_n \psi$ şeklinde bir α formülüdür; burada P_1, \dots, P_n yüklem sembolleri ve ψ keyfi birinci mertebeden mantığın bir formülüdür.

SCAN algoritmasında çıktı: P_1, \dots, P_n yüklem değişkenlerini içermeyen ve α formülüne mantıksal denk olan φ_α formülüdür.

SCAN algoritması aşağıdaki üç adımdan oluşmaktadır:

1. Verilen formülün değillemesi alınır ve ikinci mertebeden standart çevirisi yapılarak $\exists P_1, \dots, P_n \psi$ biçimine indirgenir. ψ formülüne ikinci mertebeden *Skolemleştirme* kuralı uygulanarak cümle formuna dönüştürülür. İşlem sonucunda f_i ler Skolem fonksiyonları, ψ' atomların veya onların değillemelerinin sonlu bir kümesi olmak üzere ψ formülü

$$\exists P_1, \dots, P_n, \exists f_1, \dots, f_n \psi'$$

biçimli formüle indirgenir.

2. C_1, \dots, C_n ler cümle olmak üzere çözümlene ve faktörizasyon kuralları uygulanarak cümleler silinir. Eğer tüm cümleler silinmiş ise bunun anlamı çelişkidir.

3. Eğer bir önceki adımda algoritma sonlanırsa ve kalan cümle varsa, ters Skolemleştirme uygulanır ve elde edilen formülün değillemesi alınır.

Bir örnekle SCAN algoritmasının adımlarını detaylı olarak göstereyim. Algoritmada girdi olarak

$$\exists P \forall x, y \exists z (\neg P(a) \vee Q(x)) \wedge (P(y) \vee Q(a)) \wedge P(z)$$

ele alalım formülünü alalım. Birinci adımda ikinci mertebeden skolemleştirme kuralı kullanılarak cümle formları hesaplanır.

f bir skolem fonksiyonu, ikinci mertebeden değişkenler ve niceleyicileri $\exists P, \exists f \forall x, y$ olmak üzere elde edilen cümleler aşağıdaki şekildedir:

$$C_1 \quad \neg P(a), Q(x)$$

$$C_2 \quad P(y), Q(a)$$

$$C_3 \quad P(f(x, y))$$

Algoritmanın ikinci adımında $\neg P(a)$ seçilerek çözülemeye başlanır.

C_1 ve C_2 arasındaki çözücü

$$C_4 = Q(x), Q(a)$$

dır. Burada x değişkeni yerine a ataması yapılırsa $C_4, Q(a)$ ya denk olur.

C_1 ve C_3 arasındaki çözücü

$$C_5 = a \neq f(x, y), Q(x)$$

dür. $\neg P(a)$ ile daha fazla çözücü kalmadı. Böylece C_1 cümlesi silindi.

Geriye kalan cümleler:

$$C_2 \quad P(y), Q(a)$$

$$C_3 \quad P(f(x, y))$$

$$C_4 \quad Q(a)$$

$$C_5 \quad a \neq f(x, y), Q(x)$$

Diğer iki P önerme değişkenini çözecek yeni çözücüler yoktur. Bu nedenle C_2 ve C_3 kolayca silinebilir. Tüm niceleyicileri yeniden düzenlenirse

$$\forall x \exists z Q(a) \wedge (a \neq z \vee Q(x))$$

formülü elde edilir.

Bir örnekle SCAN algoritmasının farklı adımlarını detaylı olarak gösterelim. Algoritmada girdi olarak

$$\exists P \forall x, y \exists z (\neg P(a) \vee Q(x)) \wedge (P(y) \vee Q(a)) \wedge P(z)$$

formülünü alalım.

Birinci adımda ikinci mertebeden skolemizasyon kuralı kullanılarak atomların veya onların değillemelerinin sonlu kümesi hesaplanır.

f bir skolem fonksiyonu, ikinci mertebeden değişkenler ve niceleyicileri $\exists P, \exists f \forall x, y$ olmak üzere elde edilen atomların veya onların değillemelerinin sonlu kümesi aşağıdaki şekildedir:

$$C_1 \quad \neg P(a), Q(x)$$

$$C_2 \quad P(y), Q(a)$$

$$C_3 \quad P(f(x, y))$$

Algoritmanın ikinci adımında $\neg P(a)$ seçilerek çözülemeye başlanır.

C_1 ve C_2 arasındaki çözüm

$$C_4 = Q(x), Q(a)$$

dır. Burada x değişkeni yerine a atması yapılırsa C_4 , $Q(a)$ ya denk olur.

C_1 ve C_3 arasındaki çözüm

$$C_5 = a \neq f(x, y), Q(x)$$

dür. $\neg P(a)$ ile daha fazla çözüm kalmadı. Böylece C_1 satırı silindi.

Geriye kalan satırlar:

$$C_2 \quad P(y), Q(a)$$

$$C_3 \quad P(f(x, y))$$

$$C_4 \quad Q(a)$$

$$C_5 \quad a \neq f(x, y), Q(x)$$

Diğer iki P önerme değişkenini çözecek yeni çözümler yoktur. Bu nedenle C_2 ve C_3 kolayca silinebilir. Tüm niceleyicileri yeniden düzenlersek

$$\forall x \exists z Q(a) \wedge (a \neq z \vee Q(x))$$

elde ederiz.

SCAN Algoritmasının Sınırları

Modal mantık bilindiği gibi Hilbert aksiyomlarının sahip olduğu semantik özellikler nedeniyle yalnızca ikinci mertebeden aksiyomatize edilebilirler. İlave edilen aksiyomlarla birlikte verilen bir formülün denk olduğu formül, ulaşılabilirlik bağıntısının birinci mertebeden aksiyomatizasyonu sayesinde bulunabilir. Örnek olarak $\forall P(\Box \Diamond P \rightarrow \Diamond \Box P)$ McKinsey aksiyomunun denk olduğu formül yalnızca ulaşılabilirlik bağıntısının ikinci mertebeden özelliği kullanılarak bulunabilir (SCAN algoritması ters Skolleştirme sırasında ikinci mertebeden Henkin niceleyicilerine ihtiyaç duyar). Geçişme aksiyomu ile birleştirilirse, bu iki tanım atomik olarak $\forall x \exists y (Rxy) \wedge \forall z Ryz \rightarrow z = y$ denktir. Açıkça görülmektedir ki bu birinci mertebeden tanımlanabilen bir özelliktir. Geçişme özelliğinin belirli durumlarda neden bu operasyona olanak verdiğine dair bazı fikirler olmasına rağmen, konu hakkında genel bir teoriye sahip olunmamaktadır. Aslında McKinsey aksiyomu geçişme aksiyomu ile atomik olarak seçme aksiyomuna karşılık gelmektedir. Beklenildiği üzere bu problemin basit bir çözümü bulunmamaktadır. SCAN algoritması tam değildir, birinci mertebeden denk formülü her zaman hesaplayamaz. İkinci mertebeden iki formülün veyalaması alındığında, bu formüllerden birinin denk olduğu birinci mertebeden formül bulunmasa bile formüllerden birine ya da her ikisine denk olan birinci mertebeden formülün bulunabilir olduğu açıktır.

Sahlqvist Formüller için SCAN Algoritmasının Tamlığı

Bu bölümde SCAN algoritmasının Sahlqvist formüllere göre tamlığı gösterilecektir. Verilen bir Sahlqvist formül φ ye önışlemler uygulanarak elde edilen ikinci mertebeden keyfi ψ formülünün,

birinci mertebeden mantıksal denk olduğu formülün SCAN tarafından hesaplanabildiği kanıtlanmalıdır. Bu nedenle aşağıdaki iki özelliğin varlığı bilinmelidir.

1. C çözümler ve C faktörlerinin hesaplanması ψ ile ilgili cümlelerin kümesi $Cls(\psi)$ uygulandığında sonlanır. Örneğin SCAN, işlemde yalnızca sonlu sayıda yeni cümle olduğunda çalışır.
2. Sonuçta oluşan birinci mertebeden formüle (genel olarak Skolem fonksiyonlarını içerir) başarılı bir şekilde ters Skolemleştirme işlemi yapılmış olur.

Her Sahlqvist formül temel Sahlqvist formülün \vee bağlacıyla bağlanmış formuna denk olduğu için her temel Sahlqvist formül φ için ispatlamak yeterlidir. İlk olarak φ nin bir Sahlqvist gerektirmesi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. İspatın köşe taşı zincir notasyonudur.

(t_1, \dots, t_n) ayrık terimlerin sıralı dizisi olsun. Bir C zinciri, (t_1, \dots, t_n) üzerinde bir atomların veya onların değillemelerinin sonlu bir kümesidir; $(\neg)R_{k_i}st$, $(\neg)Q_j(u)$ formundaki önermesel değişkenleri içerir ve aşağıdaki üç koşulu sağlar:

- (1) Her i , $1 \leq i \leq n - 1$ için ya $\neg R_{k_i}t_i t_{i+1}$ ya da $R_{k_i}t_i t_{i+1}$, C de dir;
- (2) Her $(\neg)R_{k_i}uv \in C$ için $u = t_j$ ve bazı j , $1 \leq j \leq n - 1$ ler için $v = t_{j+1}$;
- (3) Her $(\neg)Q_j uv \in C$ ve bazı j , $1 \leq j \leq n - 1$ ler için $u = t_j$ dir.

Teorem. SCAN, keyfi bir Sahlqvist gerektirmesi φ nin birinci mertebeden mantıksal denk olduğu formül α_φ yi hesaplar.

Kanıt N , $ST(\neg\varphi, a)$ nın atomların veya onların değillemelerinin sonlu bir kümesi olsun. Tüm atomların veya onların değillemelerinin sonlu kümesi N den türetilbilir öyle ki N, N nin kelimeleri üzerindeki zincirlerden meydana gelir. Zincirlerin uzunluğu, N deki zincirlerin uzunluğu tarafından sınırlandırılır.

Göstermeliyiz ki her ne zaman bir cümle çok sayıda zincir ile türetilirse bu cümle yoğunlaşır.

Ters Skolemleştirme durumunda tümevarımsal argümanlar kullanılarak eşitsizlikler ve terimlerde meydana gelen türetilmiş cümlelerin başarılı bir şekilde unskolemize edilebildiği gösterilebilir. Sonuç olarak niceleyicilerin ters Skolemizasyon sırasında her zaman başarı ile düzenlenebileceği gösterilir.

Son olarak temel bir Sahlqvist formül φ , box operatörleri ve hiçbir ortak önerme harfi içermeyen iki formüle veya bağlacı uygulanarak elde edilir.

SQEMA

SQEMA ikinci mertebeden niceleyicilerin elenmesine yönelik geliştirilen en son algoritmadır. SQEMA algoritması Ackermann lemmasının modal versiyonunu kullanarak diğer algoritmaların aksine modal formüller üzerinde direkt olarak çalışır. Bu nedenden dolayı diğer algoritmalarından çok daha etkili ve yalın bir algoritmadır. Bu bölümde SQEMA algoritmasının temel kavramlarına ve tanımlarına değinilecektir. Ardından algoritmanın işleyişi ayrıntılı olarak sunularak modal formüller

üzerindeki etkinliği bir örnekle açıklanacaktır. Bölümün sonunda ise SQEMA algoritmasının Sahlqvist formüllere göre tamlığı ispatlanacaktır.

Algoritmanın işleyişini güçlendirmek için aşağıdakiler modal dile eklenir:

- Ters modalite \Box^{-1} :

$$M, u \Vdash \Box^{-1}\varphi \text{ (eye) her } w \in M \text{ için } R^{-1}uw$$

Ters modalite için standart çeviri:

$$ST(\Box^{-1}, \varphi) := \forall y(Ryx \rightarrow ST(\varphi, y))$$

dir. \Box^{-1} in duali \Diamond^{-1} olarak tanımlanır.

- Nominaller, özel bir tür önermesel değişkenler $Nom = \{i_1, i_2, \dots\}$ in değer atamalarının singleton-lara kısıtlanışıdır. Nominallerin doğruluk tanımları ve standart çevirileri aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$(w, V), u \Vdash i \text{ (eye) } V(i) = \{u\}.$$

$ST(i_i, x) := x = y_i$ öyle ki burada y_0, y_1, \dots ler i_0, i_1, \dots nominalleri ile ilgili korunmuş değişkenlerdir.

Modal dilin bu genişlemesi ML^+ ile gösterilir. M bir model ve φ, ML^+ nın bir formülü olsun. $\llbracket \varphi \rrbracket_M$, bir M modelinde φ formülünün genişlemesidir ve $\llbracket \varphi \rrbracket_M = \{m \in M : M, m \Vdash \varphi\}$ biçiminde tanımlanır.

ML^+ da bir saf formül önermesel değişkenleri içermeyen fakat nominalleri içerebilen bir formüldür. Her saf formül $\gamma, \forall \bar{y}ST(\gamma, x)$ formülü tarafından yerel birinci mertebeden tanımlanabilir; burada \bar{y}, γ da meydana gelen tüm y_i değişkenlerinin tuple-larına karşılık gelen i_i nominalleridir.

$A, B(p), ML^+$ da bir formül olsun. $B(A/p), p$ nin tüm geçişleri için A nın aynı ikameleri tarafından $B(p)$ den elde edilen formüldür.

ML^+ biçimsel olarak algoritmanın çalışması için yeterli olsa da bazen evrensel modalite $[U]$ ile dili güçlendirmek gerekli olabilir.

Evrensel modalite $[U]$ nun semantiği:

$$M, u \Vdash [U]\varphi \text{ (eye) her } w \in M \text{ için } M, w \Vdash \varphi \text{ (eye) } M \Vdash \varphi$$

$\langle U \rangle, [U]$ nun duali olarak tanımlanır:

$$M, u \Vdash \langle U \rangle \varphi \text{ (eye) bazı } w \in M \text{ için } M, w \Vdash \varphi$$

$$\text{(eye) } M, u \Vdash \neg[U]\neg\varphi$$

$\langle U \rangle, [U]$ standart çevirileri:

$$ST([U]\varphi, x) := \forall xST(\varphi, x) \text{ ve } ST(\langle U \rangle \varphi, x) := \exists xST(\varphi, x)$$

Özellikle bir sonraki alt bölümde Ackermann lemmasının modal versiyonun tekrarlanma aşamasında evrensel modalite kullanılacaktır.

Ackermann Lemmasının Modal Versiyonu

Bu bölümde aksi belirtilmediği takdirde ML^+ da çalışılacaktır. Ayrıca $PROP$ önerme değişkenlerinin ve NOM nominallerin kümesi olmak üzere bu iki kümesinin birleşimi yerine kısaca AT kısaltması kullanılacaktır.

Not: Pozitif ve negatif formül tanımlarında nominaller göz önünde bulundurulmayacaktır. Ayrıca bir saf formül φ i, hem *pozitif* hem de *negatif* kabul edilir.

Modal Ackermann Lemması $A, B(p)$, ML^+ da bir formül, A, p yi içermeyen keyfi bir modal formül ve $B(p)$, p ye göre pozitif bir modal formül olsun. Keyfi bir M modeli için $M \Vdash B(A)$ olması için gerek ve yeter koşul $M' \Vdash (A \rightarrow p) \wedge B(p)$ olmasıdır.

Lemmayı pozitif formüllere göre uyarlamak mümkündür.

Ackermann Lemması ve İkame Metodu

Ackermann lemmasının devrik formu:

A, p yi içermeyen keyfi bir modal formül ve B, p ye göre pozitif bir modal formül olmak üzere

$$\forall p ([U](A \rightarrow p) \rightarrow B(p)) \equiv B(A/p)$$

İfadeleri denktir.

Denklikten de görüldüğü gibi bir M modelinde $[U](A \rightarrow p)$ formülü doğrudur ancak ve ancak $\llbracket A \rrbracket_M \subseteq \llbracket p \rrbracket_M$ dır.

Yukarıdaki denklik aşağıdaki şekilde yorumlanabilir:

Bir \mathfrak{F} çatısında, $\forall p ([U](A \rightarrow p) \rightarrow B(p))$ geçerlidir ancak ve ancak $B(p)$ öncülü A nın sağlandığı minimal model için doğrudur.

Tanım (SQEMA Algoritması)

Bu bölümde biçimsel olarak SQEMA algoritması temel modal dil için sunulacaktır. Fakat SQEMA, keyfi çok ögeli ve hibrit çoklu modal dillere genişletilebilir (Goranko ve Vakarelov, 2002).

Temel Algoritma

Bir modal formül φ girdi olarak verildiğinde değil alınarak değil normal forma çevirilir. Daha sonra yerel çatı denkleğini koruyan dönüşüm kuralları uygulanarak verilen formül $\alpha \rightarrow \beta$ formülü formüle dönüştürülür. Burada α ve β değil normal formdadır. Elde edilen formül denklem olarak adlandırılır.

Tüm denklemler global durumlarda yorumlanır ve tüm modellerde geçerlidirler. Algoritma denklem sistemleri ile çalışmaktadır. Her bir dönüşüm kuralı denklemi bir veya daha çok yeni denklem içine dönüştürür.

Ackermann kuralı, Ackermann lemmayı temel almaktadır ve tüm denklem sistemlerine uygulanabilir. Algoritmanın bu aşamadaki adımında bir önermesel değişken elenmek için seçilir. Elde edilen denklem sistemleri dönüşüm kuralları ve Ackermann kuralı uygulanarak yeni denklem sistemleri içine dönüştürülür. Bu işlemler sırasında seçilen önermesel değişken elenir. Tüm önermesel değişkenler aynı işlemler uygulanarak sırayla elenirler. Algoritmanın başarısı önermesel değişkenlerin eleme sıralarına bağlıdır.

Artık algoritmanın daha biçimsel bir tanımı verilebilir. Algoritma girdi olarak bir φ modal formülünü alır ve aşağıda adımlar sırasıyla uygulanır:

Adım 1 φ nin değillesmesi alınır ve değil normal formdaki formül \rightarrow , \leftrightarrow bağlaçları ve içeride bulunan tüm değil işaretleri kaybolana kadar önerme değişkenlerinin önüne sürülür.

Elde edilen formülü $\forall \alpha_k$ formu formüle indirmek için

$$\diamond (\varphi \vee \psi) \equiv (\diamond \varphi \vee \diamond \psi) \text{ ve } (\varphi \vee \psi) \wedge \theta \equiv (\varphi \wedge \theta) \vee (\psi \wedge \theta)$$

denklikleri kullanılır.

Artık algoritma her bir evetleme üzerinde α_k yı ayırarak çalışmaya devam edebilir.

Adım 2 $\alpha_k, i \rightarrow \alpha_k$ olarak yeniden yazılır. Burada i, α_k da geçmeyen ve yalnızca α anki başlangıç durumunda kullanılan sabit, korunmuş nominaldir. Bu başlangıç sistemi içindeki tek denklemdir.

Adım 3 Her önermesel değişkeni elemek için sistemdeki negatif ve pozitif önermesel değişkenler yerine sırasıyla \top ve \perp yerleştirilir.

Adım 4 Eğer sistemin denklemleri içinde elenmemiş önermesel değişkenler kaldıysa, elenmek için seçilir. Aksi takdirde Adım 5'e geçilir. Eğer kalan değişkenlerin tamamı elendi ve Adım 5 başarısız olduysa eleme sırası değiştirilerek değişkenler tekrar elenir. Eğer eleme sırası kalan değişkenlere uygulandıktan sonra Adım 5 yine başarısız olursa, rapor başarısızdır. Eğer sistemdeki tüm önermesel değişkenler elendi ise Adım 6 ya geçilebilir.

Adım 5 Bu adımın amacı listedeki dönüşüm kurallarını uygulayarak seçili değişken p ye göre Ackermann kuralını uygulamak ve p yi elemek için denklemlerin sistemini yeniden yazmaktır.

Böylece her denklem ya negatif ya da $\alpha \rightarrow p$ formunun içine dönüştürülmeye çalışılır. Buradaki amaç p yi denklemden eleyerek denklemi çözmektir. Eğer bu adım başarısız olursa geri dönülür ve p yerine $\neg p$ ataması ile aynı adım tekrarlanır. Tekrar başarısız olursa ya da bir önceki adımda tamamlanırsa Adım 4'e dönülür.

Adım 6 Eğer tüm adımlar uygulanarak Adım 6 ya ulaşırsa, girdi formülündeki tüm önermesel değişkenler, sistemlerin sonuçlandırılmasıyla başarılı bir şekilde elenmiş demektir.

Son olarak her bir sistemdeki tüm denklemlerin evetlemeleri alınarak bir saf formül ya da $\forall \bar{y} \exists x_0 ST(\neg pure, x_0)$ biçimli bir formül elde edilir ve girdi formülü φ ye karşılık gelen yerel birinci mertebeden bir formül elde edilir.

Dönüşüm Kuralları

SQEMA tarafında kullanılan dönüşüm kulları aşağıda verilmiştir.

Mantıksal Bağlaçlar için Kurallar

Kuralın Adı

Formül

\wedge - Kuralı :

$$\begin{aligned} & \beta \rightarrow \gamma \wedge \delta \\ & \Downarrow \\ & \beta \rightarrow \gamma, \beta \rightarrow \delta \end{aligned}$$

Sola Öteleme \vee -Kuralı:

$$\begin{aligned} & \beta \rightarrow \gamma \vee \delta \\ & \Downarrow \\ & (\alpha \wedge \neg \gamma) \rightarrow \delta \end{aligned}$$

Sağa Öteleme \vee -Kuralı:

$$\begin{aligned} & (\beta \wedge \neg \gamma) \rightarrow \delta \\ & \Downarrow \\ & \beta \rightarrow \gamma \vee \delta \end{aligned}$$

Sola Öteleme \square -Kuralı:

$$\begin{aligned} & \gamma \rightarrow \square \delta \\ & \Downarrow \\ & \diamond^{-1} \gamma \rightarrow \delta \end{aligned}$$

Sağa Öteleme \square -Kuralı:

$$\begin{aligned} & \diamond^{-1} \gamma \rightarrow \delta \\ & \Downarrow \\ & \gamma \rightarrow \square \delta \end{aligned}$$

\diamond -Kuralı:

$$\begin{aligned} & j \rightarrow \diamond \gamma \\ & \Downarrow \\ & j \rightarrow \diamond k, k \rightarrow j \end{aligned}$$

burada j keyfi bir nominal ve k yeni bir nominaldir. Kısaltma olarak $j \rightarrow \diamond k$ yerine Rjk kullanılabilir.

Ackermann Kuralı

Bu kural Ackermann lemmasındaki denklige dayanmaktadır. Ackermann Kuralı sadece tek bir denklem üzerinde çalışmaz, aşağıdaki gibi dönüşüm kuralları ile elde edilen yeni denklem kümeleri üzerinde de çalışır.

$$\left\| \begin{array}{l} \alpha_1 \rightarrow p, \\ \dots \\ \alpha_n \rightarrow p, \\ \beta_1(p), \\ \dots \\ \beta_m(p), \end{array} \right\| \Rightarrow \left\| \begin{array}{l} \beta_1[(\alpha_1 \vee \dots \vee \alpha_n)/p], \\ \dots \\ \beta_m[(\alpha_1 \vee \dots \vee \alpha_n)/p]. \end{array} \right\|$$

Burada;

- 1) $p, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ lere geçmeyen bir önermesel değişkendir.
- 2) β_1, \dots, β_n lerin her biri p de negatiftir.
- 3) p yi içeren sistemde başka bir denklem yoktur.

Bundan sonra Ackermann kuralının uygulanışında $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ ve β_1, \dots, β_n formülleri sırasıyla α – formül ve β – formül olarak adlandırılacaktır.

Kutup Değişirme Kuralı

O anki sistemin içinden seçilen p değişkeninin her geçişinde kutup değiştirilir, yani p yerine $\neg p$ ve $\neg p$ yerine p yazılır.

Yardımcı Kurallar

Bu kurallar bazı önermesel sonuçların kapasitelerini ve modal operatörler arasındaki dualitenin etkisini arttırmaya yöneliktir.

- 1) \wedge ve \vee bağlaçlarının dağılma ve birleşme özelliği.
- 2) $\gamma \vee \neg \gamma \equiv \top$, $\gamma \wedge \neg \gamma \equiv \perp$
- 3) $\gamma \vee \top \equiv \top$, $\gamma \vee \perp \equiv \gamma$
- 4) $\gamma \wedge \top \equiv \gamma$, $\gamma \wedge \perp \equiv \perp$
- 5) $\gamma \rightarrow \perp \equiv \neg \gamma$, $\gamma \rightarrow \top \equiv \top$
- 6) $\perp \rightarrow \gamma \equiv \top$, $\top \rightarrow \gamma \equiv \gamma$
- 7) $\neg \diamond \neg \equiv \square$, $\neg \square \neg \equiv \diamond$

Kutup değiştirme kuralının dışında önermesel değişkenin keyfi geçişinin kutupsallığını değiştiren dönüşüm kuralı yoktur.

Bir örnekle SQEMA algoritmasının adımlarını detaylı olarak gösterelim $p \wedge \Box(\Diamond p \rightarrow \Box q) \rightarrow \Diamond \Box \Box p$ formülünü göz önünde bulundurulsun. Verilen formül bir Sahlqvist formülüne denk değildir.

Adım 1 Formülün değillemesi alınırsa

$$p \wedge \Box[\Diamond p \rightarrow q] \wedge \Box \Diamond \Diamond \neg q]$$

elde edilir.

Adım 2 $i \rightarrow [p \wedge \Box(\Box \neg p \vee \Box q) \wedge \Box \Diamond \Diamond \neg q]$

Adım 3 Sistem p ya da q da ne pozitif ne de negatiftir.

Adım 4 Önermesel değişken p yi elemek için seçilir.

Adım 5 \wedge - Kuralı iki kere uygulanırsa

$$\left\| \begin{array}{l} i \rightarrow p \\ i \rightarrow \Box(\Box \neg p \vee \Box q) \\ i \rightarrow \Box \Diamond \Diamond \neg q \end{array} \right.$$

elde edilir. Sistem artık Ackermann kurallının uygulanması için p izole edildi ve $i \rightarrow \Box(\Box \neg p \vee \Box q)$ formül p 'de negatiftir.

$$\left\| \begin{array}{l} i \rightarrow \Box(\Box \neg i \vee \Box q) \\ i \rightarrow \Box \Diamond \Diamond \neg q \end{array} \right.$$

Ackermann kuralının uygulanmasından sonra sistemden p önerme değişkeni elenmiştir. Sistemdeki diğer önerme değişkeni q ' yu elemek için Adım 4'e geçilir.

Adım 4 Önerme değişkeni q elemek için seçilir.

Adım 5 \Box -kuralı, Sola öteleme \vee -kuralı ve tekrar \Box -kuralını uygulanırsa

$$\left\| \begin{array}{l} \Diamond^{-1} i \rightarrow \Box \neg i \vee \Box q \\ i \rightarrow \Box \Diamond \Diamond \neg q \end{array} \right. \\ \left\| \begin{array}{l} \Diamond^{-1} i \vee \neg \Box \neg i \rightarrow \Box q \\ i \rightarrow \Box \Diamond \Diamond \neg q \end{array} \right.$$

$$\left\| \begin{array}{l} \diamond^{-1} (\diamond^{-1} i \vee \neg \square \neg i) \rightarrow q \\ i \rightarrow \square \diamond \diamond \neg q \end{array} \right\|$$

$$\left\| \begin{array}{l} \diamond^{-1} (\diamond^{-1} i \vee \diamond i) \rightarrow q \\ i \rightarrow \square \diamond \diamond \neg q \end{array} \right\|$$

bulunur.

Adım 6 $i \rightarrow \square \diamond \diamond [\square^{-1}(\square^{-1}\neg i \vee \square \neg i)]$ değillemesi alınırsa

$$i \wedge \diamond \square \square [\diamond^{-1}(\diamond^{-1} i \vee \diamond i)]$$

elde edilir. Son olarak formülünün çevirisi yapılrsa

$$\exists x_0 [x_0 = y_i \wedge \exists z_1 (Rx_0 z_1 \wedge \forall z_2 (Rz_1 z_2 \rightarrow \forall z_3 (Rz_2 z_3 \rightarrow$$

$$\exists u_1 [Ru_1 z_3 \wedge \exists u_2 (Ru_2 u_1 \wedge u_2 = y_i \wedge \exists u_3 (Ru_1 u_3 \wedge u_3 = y_i))]))])$$

elde edilir.

Bu örnekte önermesel değişkenlerin elenme sırası önemli değildir. Önce q önerme değişkeni ardından p önerme değişkeni elenseydi algoritma aynı şekilde çalışacaktı.

Gözlem Algoritmanın başarısı bazı önermesel sonuçların temel yeteneklerine bağlıdır. Özellikle $\diamond^{-1} i \rightarrow (\neg \diamond^{-1} i \vee \neg \square p \vee \square p)$ denkleminde $\neg \square p$ yerine $\diamond \neg p$ yazılmış olsaydı, elde edilen denklem $\diamond^{-1} i \rightarrow (\neg \diamond^{-1} i \vee \diamond \neg p \vee \square p)$ olurdu. Bu durumda totoloji durumu kolayca fark edilmeyebilirdi. Bu durum p nin kutbu değiştirildikten sonra monotonluk temelli Ackermann kuralının uygulanmasına izin verir.

$$\left\| \begin{array}{l} \diamond^{-1} i \rightarrow (\neg \diamond^{-1} i \vee \diamond p \vee \square \neg p) \\ i \rightarrow p \end{array} \right\|$$

Ackermann kuralı uygulanırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\| \diamond^{-1} i \rightarrow (\neg \diamond^{-1} i \vee \diamond i \vee \square \neg i) \|$$

Denklem sadeleştirilirse

$$\| \diamond^{-1} i \rightarrow (\square^{-1}\neg i \vee \diamond i \vee \neg \diamond i) \|$$

elde edilir. Bu denklemin birinci mertebeden dengi değillemeden sonra \perp dir.

Gözlem Sistemden ilk olarak p elenseydi,

$$\| \diamond^{-1} i \rightarrow (\diamond p \vee q) \|$$

elde edilirdi.

Formülünde \diamond altında p nin geçişlerini elde etmemek için p nin kutupsallığı değiştirilirdi. Sistem dönüştürölmeye başlandığında

$$\left\| \begin{array}{l} \diamond^{-1} i \rightarrow (\diamond \neg p \vee q) \\ \diamond^{-1} (\diamond^{-1} i \wedge q) \rightarrow p \\ i \rightarrow \neg p \end{array} \right\|$$

elde edilir. Ardından sisteme Ackermann lemması uygulandığında

$$\begin{cases} \diamond^{-1} i \rightarrow (\diamond \neg(\diamond^{-1}(\diamond^{-1} i \wedge q)) \vee q) \\ i \rightarrow \neg(\diamond^{-1}(\diamond^{-1} i \wedge q)) \end{cases}$$

elde edilirdi. Artık bu sistemde SQEMA'nın takıldığı görme de ğildir.

Elementin sırası önemli olmamasına rağmen algoritmanın geri dönüş seçene ğini içermesi teorikte adım sayısının hızla artmasına yol açar fakat uygun yol göstericiler ve ek kurallar yardımıyla elementin doğru sıralamasına karar verilir. Bu nedenle uygulamada algoritmanın adım sayısında hızlı bir artış meydana gelmez.

SQEMA'nın Sahlqvist Formüller Üzerindeki Tamlığı

Lemma φ bir Sahlqvist formül ve $\varphi', \neg\varphi$ den tüm bağlaçlar üzerindeki de ğillerin içeri aktarılmasıyla elde edilmiş bir formül ise φ' bir Sahlqvist öncülüdür.

Kanıt φ nin uzunluğu üzerinde tümevarım uygulayalım.

Eğer $\varphi: \alpha \rightarrow Pos$ bir Sahlqvist gerektirme ise de ğili alınır ve yeniden yazılırsa $\alpha \wedge \neg Pos$ elde edilir ve Sahlqvist öncülüne dönüşür.

Eğer $\varphi = \Box\psi$ formunda bir formül ise de ğil alınarak $\neg\varphi = \Diamond\neg\psi$ dönüştürülür. Böylece φ için iddia gösterilmiş olur. Çünkü Sahlqvist öncülü, diamond operatörü üzerinde kapalıdır.

Eğer $\varphi = \psi_1 \wedge \psi_2$ formunda ise de ğili alınarak $\neg\varphi = \neg\psi_1 \vee \neg\psi_2$ elde edilir. Böylece φ için iddia sağlanmış olur. Çünkü Sahlqvist öncülleri veyalamalar üzerinde kapalıdır.

$\varphi = \psi_1 \vee \psi_2$ durumu da benzer şekilde gösterilebilir.

Lemma $E, j \rightarrow \beta$ formulu SQEMA denklemlerinin bir sistemi ve β , veyalamalar kullanmadan oluşturulmuş, olası negatif formülleri kabul eden bir Sahlqvist öncülü olsun. p, E de negatif ve pozitif formüllerin geçti ği herhangi bir önermesel de ğişken ise E , yalnızca \wedge -kuralı, \vee -kuralı, \Box -kuralı ve Ackermann kuralı kullanılarak $j \rightarrow \beta$ formulu fakat p yi içermeyen bir E' sistemi içine dönüştürülebilir.

Kanıt p nin tüm pozitif geçişleri, evetlemelerin ve diamond operatörlerinin etkisi altında kalan box-lı formüllerin içindedir. İlk olarak p yi ayırılım başka bir ifadeyle E sistemini p nin pozitif oldu ğu $\gamma \rightarrow p$ formundaki denklemlere dönüştürelim. Burada p, γ de meydana gelmesin. p nin box uygulanmış atomlarını \Diamond -kuralı ve \wedge -kuralı uygulayarak ayırılım. Elde edilen sistemdeki denklemler hala $j \rightarrow \beta$ formundadır. Burada j , bir nominal ve β bir Sahlqvist öncülüdür. Formül bir pure formül olarak adlandırılır ve hem pozitif hem de negatif olarak kabul edilir. Oluşan tüm denklemler p de pozitif meydana gelir ve $j \rightarrow \Box^n p$ formundadır. \Box -kuralı uygulanırsa, $(\Diamond^{-1})^n j \rightarrow p$ forma dönüştürülür. Sistem, denklemleri Sahlqvist öncülleri durumuna getiremez ve tüm denklemlere Ackermann kuralı uygulanarak p elenir. Saf formüller p nin negatif geçişlerine ikame edilir, böylece ikameden sonra negatif formül ve Sahlqvist öncülleri kalır.

Teorem SQEMA, her Sahlqvist formülün birinci mertebeden mantıksal dengini hesaplar.

Kanıt φ bir Sahlqvist formül olsun. Birinci adımda φ nin değilini alalım ve tüm bağlaçlar üzerine dağıtalım. Elde ettiğimiz bu formülü φ' olarak adlandıralım. Lemma 1'den φ' formülünün bir Sahlqvist öncülü olduğunu biliyoruz. Artık φ' yi, $\bigvee_{j=1}^n \alpha_j$ forma dönüştürebiliriz. Burada her bir α_j Sahlqvist öncülü, \top, \perp, \square -lı atomlar ve veyalamaların kullanılmadığı negatif formüllerden, evetlemelerin ve \diamond -ların veyalamalar üzerine dağıtılmasıyla elde edilen bir formüldür. Olası bazı negatif formüller dışındaki tüm veyalamaları dağıtmak mümkündür. Çünkü φ' de bu veyalamaların hiçbirini, box-ların etkisi altında kalmaz.

Artık algoritma her bir veyalama üzerinde ayrı olarak işler. Bunlardan biri olan α_j yi seçerek ispata devam edelim. p_1, \dots, p_n ler α_j de meydana gelen değişkenlerin keyfi sıralaması olsun. Denklemlerin başlangıç sistemi

$$\|i \rightarrow \alpha_j$$

dir.

Bu sistem Lemma 3.2.1 ün gerektirdiği formdadır. Eğer p_1 yalnızca pozitif (negatif) ise SQEMA bunun pozitif (negatif) formüllerin yerine $\top(\perp)$ ikame ederek p_1 i eler. Eğer p_1 hem pozitif hem de negatif ise Lemma 5.4.3'den SQEMA, p_1 i eler. Önermesel değişkenler p_2, \dots, p_n benzer şekilde elenir. İşlem tümevarımsal olarak her bir elemenden sonra kalanlara Lemma 3.2.1 ün uygulanmasıyla devam eder. SQEMA tarafından değillemeler ve dönüşüm kurallarıyla elde edilen saf formül, α_j ye yerel birinci mertebeden çatıya denktir. $1 \leq j \leq n$ için bu denklemlerin evetlemeleri alınırsa girdi Sahlqvist formülü φ için birinci mertebeden yerel çatıya denk olan formül elde edilir.

Sonuç

SCAN algoritması konu ile ilgili ilk saf algoritmalardan biridir. SCAN algoritması modal formüllere karşılık gelen birinci ya da ikinci mertebeden formülleri hesaplayabilmektedir. Geliştirilen diğer algoritmalar ve tekniklerde olduğu gibi SCAN algoritması modal formüllerin sınıfına göre tam değildir. Yani verilen her modal formüle karşılık gelen birinci ya da ikinci mertebeden formülü hesaplayamamaktadır. Algoritma ikinci mertebeden niceleyicilerin elenmesi aşamasında ters skolemleştirme tekniğinin doğası gereği sorunlarla karşılaşmaktadır. Sahlqvist tekniğinde olduğu gibi SCAN algoritması da zaman mantığının formülleri üzerinde etkilidir.

SQEMA algoritması içerdđi dönüşüm kuralları nedeniyle modal formüller üzerinde direkt olarak çalışabilmektedir. Bu özelliği sayesinde diğer algoritmalardan daha yalındır. SQEMA algoritmasını diğer algoritmalar ve tekniklerden ayıran bir başka özellik ise normal modal mantığın formülleriyle birlikte zaman mantığı, hibrit mantık ve çok öğeli modal formüller üzerinde de etkili bir algoritma olmasıdır. SCAN algoritmasında olduğu gibi SQEMA algoritmasında modal formüller sınıfına göre tam değildir. SCAN ve SQEMA algoritmaları modal formüllere karşılık gelen ikinci mertebeden formülleri hesaplayabilmeleri ve algoritmaların Sahlqvist formüllerine göre tam olması Sahlqvist

tekniklerinden çok daha etkili olduklarının kanıtıdır. SCAN ve SQEMA algoritmalarının uygulamalarına <http://www.mpi-inf.mpg.de/departments/rg1/software/scan/index.html> ve <http://www.fmi.uni-sofia.bg/fmi/logic/sqema/sqema.jsp> internet adreslerinden ulaşmak mümkündür.

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

- Ackermann J. Der entwurf linearer regelungssysteme im zustandsraum. At Automatisierungstechnik 1972; 20(1-12): 297-300.
- Blackburn P. de Rijke M., Venema Y. Modal logic. Cambridge University Press, 2001.
- Chellas BF. Modal logic: An introduction. Cambridge University Press, 1980.
- Condradie W., Goranko V., Vakarelov D. Algorithmic correspondence and completeness modal logic. I. core algorithm SQEMA. Logical Methods in Computer Science 2006; 1-26.
- Condradie W., Goranko V., Vakarelov D. Algorithmic correspondence and completeness in modal logic. II. polyadic and hybrid extensions of the algorithm SQEMA. Journal of Logic and Computation Advance Access 2006.
- Gabbay D., Ohlbach HJ. Quantifier elimination in second-order predicate logic. South African Computer Journal 1992; 7: 35-43.
- Goranko V., Vakarelov D. Sahlqvist formulas unleashed in polyadic modal languages. Advances in Modal Logic 2002.
- Hustadt U., Goranko V., Vakarelov D. SCAN is complete for all Sahlqvist formulae. In Relational and Kleene-Algebraic Methods in Computer Science 2004.
- Nonnengart N., Ohlbach HJ., Szalas A. Elimination of predicate quantifiers. Logic and Reasoning 1999; 159-181.
- Sahlqvist H. Completeness and correspondence in the first and second order semantics for modal logic. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics 1975; 82: 110-143.
- Szalas A. On the correspondence between modal and classical logic: an automated approach. Journal of Logic and Computation 1993; 605-620.
- Vaananen J. Second-order logic and foundation of mathematics. The Bulletin of Symbolic Logic 2001; 7(4): 504-520.

A Review on Biodiesel: From Feedstock to Utilization in Internal Combustion Engines

Erdi TOSUN^{1*}, Mustafa ÖZCANLI², Mustafa Atakan AKAR³

¹Çukurova University, Engineering Faculty, Automotive Engineering Department, 01330, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0001-5733-2047>

²<https://orcid.org/0000-0001-6088-2912>

³<https://orcid.org/0000-0002-0192-0605>

*Corresponding author: etosun@cu.edu.tr

Reviews

Article History

Received: 28.07.2021

Accepted: 20.10.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

Biodiesel

Fuel

Internal combustion engines

ABSTRACT

Transportation and energy sector depend highly on conventional fossil fuels. Biodiesel has been very attractive fuel nowadays since fossil fuels faced with extinction dangerous. It has a huge potential as an alternative energy source to fulfill the energy requirement of the world with parallel to rise in population and growing industrialization. Renewable, sustainable, environment friendly and biodegradable nature are the featured properties of biodiesel. Similar physicochemical properties of biodiesel with diesel fuel allow to be used with little or no engine modification in diesel engines. There are lots of raw materials from vegetable oils to animal fats for their production. Although it has lower energy content compared to diesel fuel which cause to deterioration on engine performance as reduced torque and increased fuel consumption, biodiesel is very effective environmentally. It causes to decrease on emissions such as unburned hydrocarbon, carbon monoxide, carbon dioxide and particulate matter. The fundamental objective of this paper is to provide a literature survey related with biodiesel utilization in internal combustion engines.

Biyodizel Üzerine Bir Derleme: Hammaddesinden, İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımına

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 28.07.2021

Kabul tarihi: 20.10.2021

Online yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Biyodizel

Yakıt

İçten yanmalı motorlar

ÖZ

Ulaşım ve enerji sektörü büyük oranda geleneksel fosil yakıtlara bağımlıdır. Biyodizel fosil yakıtların tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalmasıyla günümüzde oldukça cazip bir yakıt haline gelmiştir. Biyodizel, artan nüfusa ve gelişen endüstrileşmeye paralel olarak dünyanın enerji ihtiyacını karşılayabilmek için alternatif bir enerji kaynağı olarak yüksek bir potansiyele sahiptir. Yenilenebilir, sürdürülebilir, çevre dostu ve biyolojik olarak bozunabilir doğası biyodizelin öne çıkan özelliklerindedir. Dizel yakıtıyla benzer fizikokimyasal özellikler göstermesi dizel motorlarda çok küçük ya da herhangi bir modifikasyon olmadan kullanılmasına izin verir. Bitkisel yağlardan, hayvansal yağlara kadar üretilmeleri için birçok hammadde vardır. Torkta azalma ve yakıt tüketiminde artma gibi motor performansında kötüleşmelere sebep olan düşük enerji içeriğine rağmen çevresel olarak oldukça etkilidir. Yanmamış hidrokarbon, karbon monoksit, karbon dioksit ve partikül madde emisyonlarında düşüşe sebep olurlar. Bu makalenin temel amacı, içten yanmalı motorlarda biyodizel kullanımı ile ilgili bir literatür taraması yapmaktır.

To Cite: Tosun E., Özcanlı M., Akar MA. A Review on Biodiesel: From Feedstock to Utilization in Internal Combustion Engines. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):417-428.

Introduction

Compression ignition (diesel) engines have series of advantages compared to spark ignition (gasoline) engines such as higher thermal efficiency and fuel economy. However, diesel engines are notorious with being one of the major environmental pollution contributors when operated by conventional diesel fuel (Krishnasamy and Bukkarapu, 2021). On the other hand, fossil based fuels have faced with scarcity threat since late 1970s and early 1980s (Tüccar et al., 2014). Energy demand of the world has increased due to population increment and growing industrialization. Besides that, environmental concerns have forced researchers to explore renewable, sustainable and cleaner fuels.

Biofuel such as biodiesel and bioethanol can be described as a fuel that is produced by biomass. Biodiesel are one of the probable alternative energy source candidates for diesel engines. Similar properties with diesel fuel and cleaner combustion characteristics make biodiesel attractive among others (Singh et al., 2021). It requires little or no engine modification for use. Sulfur free structure, oxygenated nature, high flash point, reduced emission levels can be sequenced as significant advantages. Vegetable and algal oils, animal fats, waste oils can be used for production of biodiesel (Tosun and Özcanlı, 2021).

Feedstocks of Biodiesel

Biofuel can be produced by various raw materials. Generally, feedstocks of biofuel can be evaluated in four different generations. First and second generation biofuels are derived from edible and non-edible biomasses, respectively. Algal biomasses are used in third generation whereas genetically modified microalgae are used in the fourth generation (Sikarwar et al., 2017; Aron et al., 2020). Fourth generation can be thought as extension of third generation. Table 1 gave examples to each generation biofuels (Dutta et al., 2014; Aro, 2016; Sikarwar et al., 2017; Aron et al., 2020; Ishola et al., 2020; Vignesh et al., 2021).

Table 1. Biofuel generations and raw materials

Raw Materials			
1st generation	2nd generation	3rd generation	4th generation
Corn, sugar beet, wheat, rice bran, sugar, starch, potato, barley, animal fats, soybean, palm, sunflower	Waste cooking oil straw, grass, wood, forest residues, jatropha, mahua, jojoba, salmon, solid municipal wastes	Micro algae, macro algae, cyanobacteria	Solar fuels, electrobiofuels, oxygenic photosynthetic microbes, genetically engineered plants
Examples of Biofuels by Generation			
Biodiesel, bioethanol, biobutanol	Biodiesel, bioethanol, biobutanol, syngas	Biodiesel, bioethanol, biobutanol, syngas, biohydrogen, methane	Biodiesel, bioethanol, biobutanol, syngas, biohydrogen, methane

Methods for Reducing Viscosity of Vegetable Oils

Viscosities of the vegetable oils mostly are not suitable for direct usage of them in engines and they can cause some problems as injection system problems (Razzaq et al., 2020). Therefore, some methods must be applied to oils in order to enhance fuel properties. Figure 1 demonstrated the summary of improvement processes of oils.

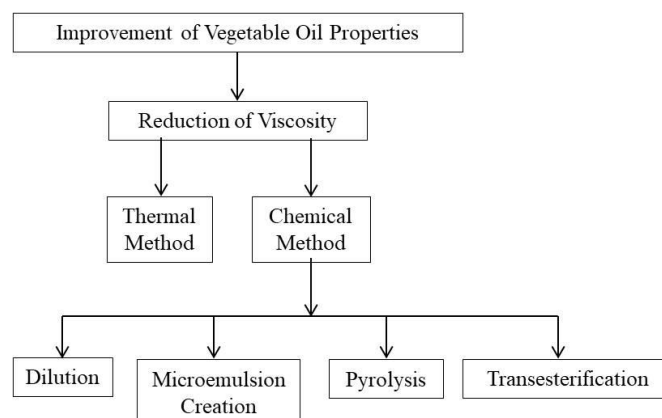


Figure 1. Improvement methods of vegetable oils fuel properties (Alptekin and Çanakçı, 2006)

Dilution Method

It is a technique that used for thinning oils by blending them with diesel fuel or various solvents in specific proportions. Dilution process may also be achieved with pure ethanol (Demirbas, 2009; Aktaş et al., 2020).

Microemulsion Method

Preparing microemulsion is another way of reducing viscosity. Microemulsions are created by two immiscible liquids with the presence of a suitable surface active agent (surfactants). Generally short-chain alcohols (methanol or ethanol) were selected for preparing microemulsion with oil. Surfactant cause to obtain reduced interfacial tension between immiscible liquids (Demirbas, 2009; Kumar et al., 2020).

Pyrolysis (Thermal Cracking)

Pyrolysis can be defined as transformation of a one substance to another by heat or by heat with the help of a catalyst. Heating is achieved in absence of oxygen and large molecules break down into smaller molecules at high temperature. Vegetable oils and animals fats may be pyrolyzed materials (Ma and Hanna, 1999).

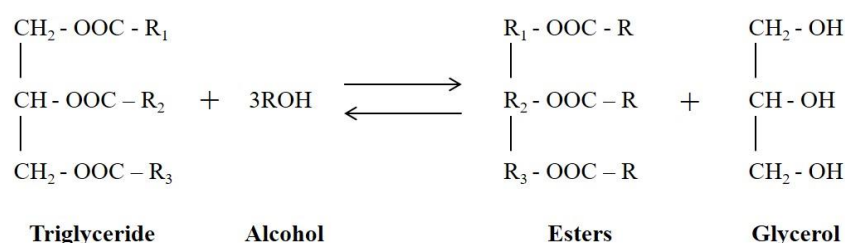
Table 2. Thermally cracked soybean oil fuel properties (Ma and Hanna, 1999)

	Soybean oil	Cracked soybean oil	Diesel fuel
Cetane number	38.0	43.0	51.0
Higher heating value (MJ/kg)	39.3	40.6	45.6
Pour point (°C)	-12.2	4.4	-6.7 max
Viscosity (cSt at 37.8 °C)	32.6	7.74	2.82

As seen from the Table 2, viscosity of soybean oil was reduced considerably by thermal cracking method.

Transesterification

Transesterification is the mostly preferred method for biodiesel production. A chemical reaction between a triglyceride and alcohol in the existence of a suitable catalyst is called as transesterification. Figure 2 illustrated the transesterification reaction.

**Figure 2.** Transesterification reaction (Demirbas, 2009)

Alcohols such as methanol, ethanol, propanol and butanol are commonly used in reaction. Among all, methanol and ethanol are mostly preferred since they have benefits as low cost and some physical and chemical advantages. This method improves the properties of oils and causes to obtain enhanced engine performance (Fukuda et al., 2001).

Table 3. Fuel properties of oil and biodiesel (Şahin and Aydın, 2018)

	Canola oil	Canola oil biodiesel	Diesel fuel
Density @ 15 °C (g/cm³)	0.915	0.883	0.834
Kinematic viscosity @ 40 °C (mm²/s)	31.388	4.453	3.071
Flash point (°C)	150	125	61
Calorific value (cal/gr)	-	9585	10319

Şahin and Aydın (2018) gave the fuel property analyses as shown above in Table 3. Improvement of fuel properties of the canola oil biodiesel which was produced by transesterification method compared to canola oil can easily be seen.

Fuel Properties of Biodiesel

Biodiesel exhibits similar fuel properties as diesel fuel. There are lots of studies which evaluated the fuel properties of biodiesel produced by different raw materials. Table 4 showed a comparative summary of fuel properties of biodiesel by taking diesel fuel as reference.

In summary, biodiesel generally cause to obtain higher density and viscosity values than diesel fuel. The high values of these properties will trigger poorer atomization of fuel which will result with lowered engine performance and increased nitrogen oxides (NO_x) emissions (Razzaq et al., 2020). Energy content of biodiesel is lower than diesel fuel. It means compared to diesel fuel that much more biodiesel fuel will be consumed in order to obtain same power (Oliveria and Da Silva, 2013). Cetane number of biodiesel is generally higher than diesel fuel although there are some which have lower. Cetane number is a property that which affects the period of ignition delay. Higher cetane number means that lowered ignition delay period and improved ignition quality (Tosun and Özcanlı, 2021). In case of flash point, biodiesel presents increased levels of flash point. Flash point is very important for safe storage of fuel (Ahmad et al., 2011).

Utilization in Engines: Performance and Emission Characteristics

Depending on its fuel properties, biodiesel affects engine combustion, performance and emission characteristics. Table 5 summarizes how biodiesel affects these characteristics.

Table 5 showed decrement/increment (with reference to diesel fuel) on combustion, performance and emission characteristics of biodiesel operated diesel engines.

As seen from the Table 5 that, engine torque and power showed reduced trends when engine was operated with biodiesel compared to diesel fuel. According to literature, low calorific value of biodiesel may be the potential reason of this situation. Brake specific fuel consumption was increased by use of biodiesel. Lower calorific value of biodiesel compared to diesel fuel may be the main reason which causes to inject more fuel in order to obtain same power values.

Table 4. Fuel properties of various biodiesels from literature

Fuel	Density	Viscosity	Calorific Value	Cetane Number	Flash Point	Reference
	<i>(kg/m³)</i>	<i>(mm²/s)</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
Eruca Sativa Biodiesel	870	4.192	43760	47.5	185	(Tayari et al., 2020)
Diesel	830	3.1	46800	46.2	88	
	<i>(kg/m³)</i>	<i>(mm²/s) @40 °C</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
Waste Cooking Oil Biodiesel	880	4.15	37700	55.1	176	(Nedayali and Shirmeshan, 2016)
Diesel	840	4.03	42900	50.33	61	
	<i>(kg/m³)</i>	<i>(mm²/s)</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
False Flax Biodiesel	886	4.38	39048	51	>140	(Akar, 2016)
Diesel	837	2.76	45856	59.47	71.5	
	<i>(kg/m³)</i>	<i>(mm²/s)</i>	-	-	<i>(°C)</i>	
Karabi Seed Biodiesel	860	4.2	-	50	110	(Bora, 2009)
Diesel	834	2.6	-	48	66	
	-	<i>(mm²/s) @40 °C</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	-	
Soybean Oil Biodiesel	-	4.2691	37388	51.5	-	(Canakci and Van Gerpen, 2003)
Yellow Grease Biodiesel	-	5.1643	37144	62.6	-	
Diesel	-	2.8271	42640	42.6	-	
	<i>(kg/m³)</i>	<i>(mm²/s)</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
Terebinth Oil Biodiesel	870	5.72	38516	59.68	106.5	(Özcanlı et al., 2011)
Diesel	831	2.65	44861	54.791	67	
	<i>(kg/m³)</i>	<i>(mm²/s) @40 °C</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
Palm Oil Biodiesel	835	3.23	24686.06	-	128	(Romola et al., 2021)
Diesel	829	2.91	44642.1	-	70	
	<i>(kg/m³)</i>	<i>(mm²/s)</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
Corn Oil Biodiesel	910	6.38	36598	-	139	(Sathyamurthy et al., 2021)
Diesel	824	2.73	42125	-	57	
	<i>(kg/m³) @15 °C</i>	<i>(mm²/s) @40 °C</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
Opium Poppy Biodiesel	890	4.682	40187	-	151	(Uyumaz et al., 2020)
Diesel	830	2.89	42600	-	67	
	<i>(kg/m³) @15 °C</i>	<i>(mm²/s) @40 °C</i>	<i>(kJ/kg)</i>	-	<i>(°C)</i>	
Peanut Oil Biodiesel	878	4.389	39860	52.5	173	(Yesilyurt, 2020)
Diesel	835	2.597	43090	55.1	58	

Table 5. Performance and emission changes (compared to diesel) of biodiesel operated diesel engines from literature

Fuel	Torque	Power	Specific Fuel Consumption	Carbon Dioxide (CO ₂)	Carbon Monoxide (CO)	Unburned Hydrocarbon (UHC)	Nitrogen Oxides (NO _x)	Particulate Matter (PM) / Smoke	Reference
Vegetable Oil Biodiesel	↓	↓	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Khan et al., 2020)
Castor Biodiesel	-	↓	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Islam et al., 2014)
Waste Cooking Oil Biodiesel	↓	-	↑	-	↓	-	↑	-	(Altun, 2011)
Inedible Animal Tallow Biodiesel	↓	-	↑	-	↓	-	↓	-	
Rice Bran Oil Biodiesel	-	-	-	-	↓	↓	↑	↓	(Devarajan and Madhavan, 2017)
Microalgae Biodiesel	-	-	↑	-	-	↓	↑	↓	(Yasar and Altun, 2018)
Victoria Oil Biodiesel	-	-	-	-	↓	↑	↑	↓	(Pesic and Davinic, 2019)
Neem Biodiesel	-	-	↑	-	↓	↓	↓	↑	(Nair et al., 2017)
Watermelon Seed Oil Biodiesel	-	-	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Asokan et al., 2021)
Coconut Biodiesel	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	-	(Liaquat et al., 2013)
Macadamia Biodiesel	-	-	↑	↑	↓	↓	↑	↓	(Azad et al., 2017)
Cotton Seed Oil Biodiesel	-	-	↑	-	↓	-	↑	↓	(Nabi et al., 2009)
Juliflora Biodiesel	-	-	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Asokan et al., 2019)
Karanja Biodiesel	-	-	↑	↓	↓	↓	↑	-	(Sivaramakrishnan, 2018)
Hazelnut Biodiesel	-	-	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Krishnaiah et al., 2016)
Prunus Armeniaca L. (Wild Apricot) Biodiesel	-	-	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Yadav et al., 2018)
Canola Oil Biodiesel	↓	-	↑	-	-	-	↓	↓	(Şen, 2019)
Rapeseed Oil Biodiesel	↓	↓	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Buyukkaya, 2010)
Fish Oil Biodiesel	-	↓	↑	-	↓	↓	↑	↓	(Nguyen et al., 2020)
Pomegranate Seed Oil Biodiesel	-	↓	↑	-	↓	-	↑	-	(Tüccar and Uludamar, 2018)

CO and UHC emissions are generated due to the incomplete combustion and insufficient temperature levels in cylinder (Nair et al., 2017). Oxidization capability of biodiesel since it has extra oxygen in its structure induced to obtain less amount of UHC and CO emissions according to literature. When CO molecules are oxidized, much more CO₂ molecules are generated. Therefore, biodiesel generally will cause to increase CO₂ emission. But, in total carbon cycle, CO₂ is reduced since plants consume it for photosynthesis (Tosun and Özcanlı, 2021). Oxygenated nature of biodiesel will trigger to obtain more NO_x emissions. A huge part of literature had a consensus on that increased level of in cylinder temperature due to enhanced combustion generated by extra oxygen in chemical structure of biodiesel caused to obtain higher NO_x. Incomplete combustion and combustion of lubrication oil may be the potential reasons of PM and smoke (Nabi et al., 2009). Biodiesel with extra oxygen may improve the combustion and may reduce the PM formation.

Conclusions

The scarcity threat of traditional fuels has led researchers to search for alternative fuels. Biodiesel is one of the most reasonable alternatives in order to replace conventional fuels with its superior advantages. It has lots of feedstocks to be produced. Fuel properties of biodiesel are very much alike with diesel fuel.

This study has offered a review on biodiesel from raw materials to utilization in engines. Fuel properties of various biodiesels compared to standard diesel fuel were supplied from the literature. Furthermore, performance, emission and combustion characteristics of diesel engines powered by miscellaneous biodiesels were evaluated.

Totally, biodiesel may be suggested as a renewable, sustainable and alternative fuel for internal combustion engines with its notable properties.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Ahmad M., Khan MA., Zafar M., Sultana S. Biodiesel from non-edible oil seeds: a renewable source of bioenergy, economic effects of biofuel production. *Economic Effects of Biofuel Production* 2011; 13: 259-280.
- Akar MA. Performance and emission characteristics of compression ignition engine operating with false flax biodiesel and butanol blends. *Advances in Mechanical Engineering* 2016; 8(2): 1-7.
- Aktaş ES., Demir Ö., Uçar D. A review of the biodiesel sources and production methods. *International Journal of Energy and Smart Grid* 2020; 5(1): 1-10.

- Alptekin E., Çanakçı M. Biyodizel ve Türkiye’deki durumu. *Mühendis ve Makina* 2006; 47(561): 57-64.
- Altun Ş. Performance and exhaust emissions of a di diesel engine fueled with waste cooking oil and inedible animal tallow methyl esters. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 2011; 35: 107-114.
- Aro E. From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio* 2016; 45: 24-31.
- Aron NSM., Khoo KS., Chew KW., Show PL., Chen W., Nguyen THP. Sustainability of the four generations of biofuels - a review. *International Journal of Energy Research* 2020; 44: 9266-9282.
- Asokan MA., Prabu SS., Akhil VS., Bhuvan PS. Reddy YB. Performance and emission behaviour of diesel and blends of watermelon seed oil biodiesel in direct injection diesel engine. *Materials Today, Proceedings* 2021; 45: 3274-3278.
- Asokan MA., Prabu SS., Bade PK., Nekkanti VM., Gutta SSG. Performance, combustion and emission characteristics of juliflora biodiesel fuelled DI diesel engine. *Energy* 2019; 173: 883-892.
- Azad AK., Rasul M., Khan MM., Sharma S. Macadamia biodiesel as a sustainable and alternative transport fuel in Australia. *Energy Procedia* 2017; 110: 543-548.
- Bora DK. Performance of single cylinder diesel engine with karabi seed biodiesel. *Journal of Scientific & Industrial Research* 2009; 68: 960-963.
- Buyukkaya E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel* 2010; 89: 3099-3105.
- Canakci M., Van Gerpen JH. Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel. *Transactions of ASAE* 2003; 46(4): 937-944.
- Demirbas A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management* 2009; 50: 14-34.
- Devarajan Y., Madhavan VR. Emission analysis on the influence of ferrofluid on rice bran biodiesel. *Journal of the Chilean Chemical Society* 2017; 62(4): 3703-3707.
- Dutta K., Daverey A., Lin J. Evolution retrospective for alternative fuels: from first to fourth generation. *Renewable Energy* 2014; 69: 114-122.
- Fukuda H., Kondo A., Noda H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 2001; 92(5): 405-416.
- Ishola F., Adelekan D., Mamudu A., Abodunrin T., Aworinde A., Olantunji O., Akinlabi S. Biodiesel production from palm olein: a sustainable bioresource for Nigeria. *Heliyon* 2020; 6: e03725.
- Islam MS., Ahmed AS., Islam A., Aziz SA., Xian LC., Mridha M. Study on emission and performance of diesel engine using castor biodiesel. *Hindawi Publishing Corporation* 2014; 2014: 451256.

- Khan MB., Kazim AH., Shabbir A., Farooq M., Farooq H., Ali Q., Danish MR., Qureshi NS., Rab HA. Performance and emission analysis of high purity biodiesel blends in diesel engine. *Advances in Mechanical Engineering* 2020; 12(11): 1-10.
- Krishnaiah T., Pandurangadu V., Nagaprasadanaidudu V. An experimental investigation on four stroke CI engine with diesel and bio-diesel blend as fuel: hazelnut. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science* 2016; 3(6): 112-119.
- Krishnasamy A., Bukkarapu KR. A comprehensive review of biodiesel property prediction models for combustion modeling studies. *Fuel* 2021; 302: 121085.
- Kumar H., Sarma AK., Kumar P. A comprehensive review on preparation, characterization, and combustion characteristics of microemulsion based hybrid biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2020; 117: 109498.
- Liaquat AM., Masjuki HH., Kalam MA., Fattah IMR., Hazrat MA., Varman M., Mofijur M., Shahabuddin M. Effect of coconut biodiesel blended fuels on engine performance and emission characteristics. *Procedia Engineering* 2013; 56: 583-590.
- Ma F., Hanna MA. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology* 1999; 70: 1-15.
- Nabi N., Rahman M., Akhter S. Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions. *Applied Thermal Engineering* 2019; 29: 2265-2270.
- Nedayali A., Shirneshan A. Experimental study of the effects of biodiesel on the performance of a diesel power generator. *Energy & Environment* 2016; 27(5): 553-565.
- Nguyen T., Pham M., Anh TL. Spray, combustion, performance and emission characteristics of a common rail diesel engine fueled with fish-oil biodiesel blends. *Fuel* 2020; 269: 117108.
- Niar JN., Kaviti AK., Daram AK. Analysis of performance and emission on compression ignition engine fuelled with blends of neem biodiesel. *Egyptian Journal of Petroleum* 2017; 26: 927-931.
- Oliveira LE., Da Silva MLCP. Comparative study of calorific value of rapeseed, soybean, jatropha curcas and crambe biodiesel. *Renewable Energy Power Quality Journal (RE&PQJ)* 2013; 1(11): 679-682.
- Özcanlı M., Keskin A., Aydın K. Biodiesel production from Terebinth (*Pistacia Terebinthus*) oil and its usage in diesel engine. *International Journal of Green Energy* 2011; 8: 518-528.
- Pesic RB., Davinic AL. A diesel engine performance measurement with diesel fuel and biodiesel. *Thermal Science* 2019; 23: 1779-1788.
- Razzaq L., Farooq M., Mujtaba MA., Sher F., Farhan M., Hassan T., Soudagar MEM., Atabani AE., Kalam MA., Imran M. Modeling viscosity and density of ethanol-diesel-biodiesel ternary blends for sustainable environment. *Sustainability* 2020; 12: 5186.
- Romola CVJ., Samuel PKJ., Harshini MM., Moorthy IG., Kumar RS., Chinnathambi A., Salmen SH., Alharbi SA., Karthikumar S. Improvement of fuel properties of used palm oil derived biodiesel with butyl ferulate as an additive. *Renewable Energy* 2021; 175: 1052-1068.

- Şahin T., Aydın F. Investigation of fuel properties of canola oil biodiesel, bioethanol and diesel fuel mixture. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies* 2018; 7(4): 158-163.
- Sathyamurthy R, Balaji D., Gorjian S., Muthiya SJ., Bharathwaaj R., Vasanthaseelan S., Essa FA. Performance, combustion and emission characteristics of a DI-CI diesel engine fueled with corn oil methyl ester biodiesel blends. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 43: 100981.
- Şen M. The influence of canola biodiesel on performance, combustion characteristics and exhaust emissions of a small diesel engine. *Sakarya University Journal of Science* 2019; 23(2): 121-128.
- Sikarwar VS., Zhao M., Fennell PS., Shah N., Anthony EJ. Progress in biofuel production from gasification. *Progress in Energy and Combustion Science* 2017; 61: 189-248.
- Singh D., Sharma D., Soni SL., Inda CS., Sharma S., Sharma PK., Jhalani A. A comprehensive review of biodiesel production from waste cooking oil and its use as fuel in compression ignition engines: 3rd generation cleaner feedstock. *Journal of Cleaner Production* 2021; 307: 127299.
- Sivaramkrishnan K. Investigation on performance and emission characteristics of a variable compression multi fuel engine fuelled with Karanja biodiesel–diesel blend. *Egyptian Journal of Petroleum* 2018; 27: 177-186.
- Tayari S., Abedi R., Tahvildari K. Experimental investigation on fuel properties and engine characteristics of biodiesel produced from *Eruca Sativa*. *SN Applied* 2020; 2: 2.
- Tosun E., Özcanlı M. Hydrogen enrichment effects on performance and emission characteristics of a diesel engine operated with diesel-soybean biodiesel blends with nanoparticle addition. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2021, 24: 648-654.
- Tüccar G., Tosun E., Özgür T., Aydın K. Diesel engine emissions and performance from blends of *Citrus Sinensis* biodiesel and diesel fuel. *Fuel* 2014; 132: 7-11.
- Tüccar G., Uludamar E. Emission and engine performance analysis of a diesel engine using hydrogen enriched pomegranate seed oil biodiesel. *International Journal of Hydrogen Energy* 2018; 43: 18014-18019.
- Uyumaz A, Aydoğan B., Yılmaz E., Solmaz H., Aksoy F., Mutlu İ., İpci D., Calam A. Experimental investigation on the combustion, performance and exhaust emission characteristics of poppy oil biodiesel-diesel dual fuel combustion in a CI engine. *Fuel* 2020; 280: 118588.
- Vignesh P., Kumar ARP., Ganesh NS., Jayaseelan V., Sudhakar K. Biodiesel and green diesel generation: an overview. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies Nouvelles* 2021, 76(6): 1-14.
- Yadav AK., Pal A., Dubey AM. Experimental studies on utilization of *Prunus Armeniaca* L. (Wild Apricot) Biodiesel as an alternative fuel for CI engines. *Waste and Biomass Valorization* 2018; 9: 1961-1969.

Yasar F., Altun S. The effect of microalga biodiesel on combustion, performance, and emission characteristics of a diesel power generator, *Thermal Science* 2018; 22(3): 1481-1492.

Yesilyurt MK. The examination of a compression-ignition engine powered by peanut oil biodiesel and diesel fuel in terms of energetic and exergetic performance parameters, *Fuel* 2020; 278, 118319.



Nano Malzemelerle Modifiye Edilen Bitüm ve Bitümlü Karışımların Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi: Literatür Araştırması

Hatice Merve ÇETİN^{1*}

¹Toros Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 33140, Mersin

¹<https://orcid.org/0000-0002-8687-423X>

*Sorumlu yazar: merve.cetin@toros.edu.tr

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.03.2021

Kabul tarihi:27.08.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Bitüm

Modifikasyon

Bitümlü karışımlar

Nano malzemeler

ÖZ

İnşa edilen yol kaplamaları olumsuz iklim şartları, artan ve tekrarlı trafik yüklerden kaynaklı deformasyona uğramaktadır. Servis ömrünü tamamlayamadan bozulmaya uğrayan yollarda yapılan bakım ve onarım çalışmaları ise ülke ekonomisini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebepten dolayı sürdürülebilir yol üstyapıları için gelişen teknoloji ile birlikte katkı malzemelerinin kullanımıyla kaplamaların dayanımı artırılarak servis ömrü uzatılabilmektedir. Bitüm ile farklı katkı malzemeler modifiye edilerek dayanımı yüksek üstyapılar inşa edilmekte ve kullanıma sunulmaktadır. Bu katkılar; endüstriyel ve geri dönüştürülmüş atıklar, polimerler ve nano malzemeler olarak sayılabilir. Nanoteknolojinin gelişmesiyle bitüm modifikasyonunda nano malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Yapılan çalışmalarda bitüm; nanokiller, nanosilika, nano kalsiyum karbonat (nano-CaCO₃), nano titanyum dioksit (nano-TiO₂), karbon siyahı nanotozu ve daha başka malzemelerle modifiye edilerek, bitümün reolojik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Nano malzemelerin kullanılması ile bitümün durabilitesi, suya karşı hassasiyeti, depolama stabilitesi ve daha birçok özelliğinde önemli iyileşmeler kaydedilmiştir. Bu makalede, yukarıda bahsedilen nano malzemelerle ilgili literatürde yapılmış olan çalışmalar araştırılmış ve bu araştırmalar neticesinde elde edilen bulgular sunularak araştırmacılar için farklı bir bakış açısı oluşturulması amaçlanmıştır.

Investigation of Physical and Rheological Properties of Bitumen and Bituminous Mixtures Modified with Nanomaterials: Literature Research

Reviews Article

Article History:

Received:24.03.2021

Accepted: 27.08.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Bitumen

Modification

Bituminous mixtures

Nanomaterials

ABSTRACT

Road pavements are subject to deformation due to adverse climatic conditions, increasing and repetitive traffic loads. Maintenance and repairing works on damaged roads before completing their service life significantly affect the economy. For this reason, the service life of the pavements can be extended by increasing the strength of the coatings by means of developing technology and additives for sustainable road pavements. High-strength superstructures are built and put into service by modifying bitumen and different additive materials. These contributions can be named as industrial wastes, recycled materials, polymers and nanomaterials. With the development of nanotechnology, the use of nano materials in bitumen modification has become widespread. The rheological and physical properties of bitumen were investigated by modifying bitumen with nanoclay, nanosilica, nano calcium carbonate (nano-CaCO₃), titanium dioxide nanoparticle (nano-TiO₂), nano carbon black obtained from recycled petrochemicals and other

materials. With the use of nanomaterials, significant improvements have been achieved in many properties of bitumen, such as durability, water sensitivity and storage stability and resistance to deformation. In this article, the studies in the literature about the nanomaterials mentioned above have been investigated and it is aimed to create a different perspective for researchers by presenting the findings obtained as a result of these researches.

To Cite: Çetin HM. Nano Malzemelerle Modifiye Edilen Bitüm ve Bitümlü Karışımların Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi; Literatür Araştırması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):429-448.

Giriş

Karayolu üstyapı inşasında dünyada ve ülkemizde en çok tercih edilen kaplama türü esnek kaplamalardır. Yapılan istatistiksel araştırmalarda birçok ülkede üstyapı olarak esnek kaplamanın uygulanması %90-100 arasında değişmektedir (ASMÜD, 2020). Esnek kaplamaların bu kadar sık tercih edilme nedenleri arasında ilk yatırım maliyetinin beton kaplamalara göre daha uygun, bakım ve onarımının ise daha kolay yapılabilmesi şeklinde sıralanabilir. Ancak esnek kaplamaların, özellikle olumsuz iklim koşulları, ağır ve tekrarlı trafik yüklerden kaynaklı; tekerlek izi, düşük sıcaklık çatlakları ve soyulma gibi bozulmaların oluşması kaplamanın servis ömrünü tamamlayamamasına neden olmaktadır. Oluşan bu deformasyonlar, sürüş konforunu azaltmakta bununla beraber yol güvenliği riskine ve olası trafik kazalarına sebebiyet vermektedir. Yol üstyapısında bu tür bozulmaların en az seviyede tutulması ve yolların servis ömrünün mümkün olduğunca uzun olması istenir. Bu sebepten dolayı kaplamada kullanılacak bağlayıcının dayanımını iyileştirecek yöntemlere başvurulmaktadır. En sık kullanılan yöntem ise farklı çeşitlerde katkı malzemelerle bitümün modifiye edilmesi yöntemidir. Yapılan çalışmalarda bitüm modifikasyonunda genellikle polimer bazlı katkı malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Ancak polimerlerin hem maliyet hem de istenilen dayanım açısından her zaman beklentileri karşılayamadığı ortaya çıkmıştır. Bu sebepten ötürü farklı katkı malzemeleri arayışına geçilmiştir. Bunlar arasında; endüstriyel atıklar, ömrünü tamamlamış taşıt lastikleri, plastik atıklar ve nano malzemeler sayılabilir. Bu makalede nano malzemelerin, bitümün fiziksel ve reolojik yapısı üzerindeki iyileştirici etkileri hakkında yapılmış olan literatür çalışmaları araştırılarak derlenmiştir. Çalışma sonucunda literatürde yer almış ve bitüm modifikasyonunda kullanılan nano malzemelerin bitümün iyileştirilmesinde sağladığı olumlu etkiler konusunda araştırmacılara farklı bir bakış açısı oluşturulması hedeflenmiştir.

Bitümün Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Bitüm; yapışkan, suya karşı geçirimsiz, uçucu olmayan ve doğal olarak ya da petrolün damıtılmasından elde edilen kolloidal bir malzemedir. Ayrıca yüksek viskoziteye sahip ancak ısıya duyarlı bir yapıda olduğundan sıcaklık arttıkça viskoz sıvı, sıcaklık azaldığında ise elastik bir katı gibi davranmakta ve bu sebepten dolayı termoplastik malzeme grubuna girmektedir. Farklı kaynaklardan elde edilen bitümlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri de farklılıklar göstermektedir. Ancak bitümü oluşturan temel bileşenler dört ana grupta; doymuş hidrokarbonlar (S), asfaltanlar (A), reçineler (R) ve aromatikler (A) toplanmakta ve kısaca S-A-R-A olarak sınıflandırılmaktadır. SARA

oranları, her bir bitüm sınıfı için farklı reolojik ve fiziksel özellikler göstermekte önemli bir etkidir. Bitümün reolojik özelliklerini önemli ölçüde etkileyen asfaltener; karbon, hidrojen, azot, kükürt ve oksijen elementlerini içermektedir. Ayrıca n-heptan içerisinde çözünmeyen, siyah veya kahverengi renklerde ve yüksek molekül ağırlığına sahip bir yapıdadır. Bitüm içerisindeki asfaltin miktarının artması bitümün yumuşama noktasını yükselterek penetrasyon değerini düşürmekte ve bitümün daha sert bir yapı haline gelmesini sağlamaktadır (İlcalı ve ark., 2001). Doymuş hidrokarbonlar ise n-heptan içerisinde çözünen, beyaz renkte hem parafinik hem de naftanik yağ halkalarını içeren viskoz yağlardan oluşmaktadır. Bitüm içerisindeki doymuş hidrokarbon miktarı %5-20 arasındadır (İlcalı ve ark., 2001). Aromatikler, bitüm içerisinde %40 ile %65 oranları arasında bulunmakta, koyu kahverengi, viskoz sıvılardır. Doymamış halka sistemlerin yoğun olduğu karbon zincirlerinden oluşmakta ve yüksek çözünme yeteneğine sahiptir (İlcalı ve ark., 2001). Reçineler ise asfaltener gibi hidrojen, karbon, oksijen, kükürt ve azot elementlerini bulundurmasına rağmen n-heptan içerisinde çözünmektedir. Koyukahverengi, katı ya da yarı katı yapıdadır. Elektriksel olarak oldukça yüklü olan reçineler bitümün yapışkanlık özelliğini sağlamaktadır (İlcalı ve ark., 2001).

Bitüm Modifikasyonu ve Amaçları

Olumsuz iklim koşulları, artan ve tekrarlı trafik yükleri ve ham bitümün yapısından dolayı inşa edilen yol kaplamaları beklenen servis ömrünü tamamlayamamakta ve sürdürülebilirliğini her zaman koruyamamaktadır. Yol kaplamalarında meydana gelen tekerlek izi, düşük sıcaklık çatlağı, ondülasyon ve ayrışma gibi deformasyonlara karşı kullanılan bağlayıcının performansını iyileştirmek amacıyla bitüm çeşitli katkılarla modifiye edilmekte ve iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Yapılan araştırmalarda bitümü; polimerler, değerli atıklar, endüstriyel atıklar ve nano malzemeler gibi çeşitli katkılarla modifikasyon çalışmalarına ağırlık verildiği görülmüştür.

Bitümün modifikasyonunda kullanılan katkılar karışım içerisindeki görevlerine göre dört ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

Adezyon artırıcı katkılar; bitümün agregalar ile yapışma özeliğini artıran ve kaplamanın, suyun zararlı etkilerine karşı korunmasını sağlayan katkı türleridir. Ayrıca bu tür katkılar, bitümlü bağlayıcılarda yaşlanmayı geciktirici olarak da kullanılabilir.

Plastikleştirici katkılar; yüksek sıcaklıklar altında deformasyona sebep olan yüklere karşı dayanımı artırmak ve bitüme gerekli katı formu sağlamak amacıyla kullanılan katkılardır (Yu ve ark.,2011).

Yapılandırıcı katkılar; bitümün molekülleri arasındaki bağı yapılandırarak çapraz bağlı bitüm elde edilmesini sağlayan bu katkılar, yol üstyapısı için gerekli dayanımı sağlamaktadır (Navarro ve ark., 2004).

Diğer karmaşık katkılar; yol üstyapı inşaatlarında geniş çapta kullanılan bu katkılar, modifiyeli bitümün reolojik performanslarını önemli bir şekilde iyileştirebilmektedir. Ayrıca mineral agregalar ile bağlayıcı arasındaki adezyonu da artırmaktadır (McNally, 2011).

Bitümün modifiye edilmesindeki genel amaçları Lewandowski (1994) şu şekilde sıralamıştır:

1. Düşük hizmet sıcaklıkları için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak;
2. Yüksek sıcaklıklarda daha katı veya sert karışımlar elde etmek ve tekerlek izi gibi kalıcı deformasyonları azaltmak;
3. Yapım, bakım ve onarım zamanında viskoziteyi düşürmek, karışımların işlenebilirliğini ve sıkışmasını iyileştirmek,
4. Karışımların dayanımını ve stabilitesini artırmak;
5. Karışımların aşınma direncini artırmak, kaplamalarda bitüm ile agrega arasında daha iyi adezyon sağlayarak agrega kayıplarını azaltmak;
6. Kaplamalarda düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak;
7. Karışımın yorulma direncini artırmak;
8. Yüksek/ yeterli akışkanlığa sahip karışımların sertleşmesini hızlandırmak,
9. Düşük performansa sahip bitümlü bağlayıcının kalitesini iyileştirmek, bu şekilde düşük performanslı bitümlü bağlayıcıların da kullanılmasına imkân sağlamak;
10. Yaşlanma ve oksitlenmeye karşı direnci artırmak, yaşlanmış bitümlü bağlayıcıların yenilenmesini/ gençleşmesini sağlamak;
11. Agregalar üzerinde daha kalın bir film tabakası oluşturmak, bu şekilde aralarındaki soyulmayı azaltmak;
12. Bitümlü bağlayıcının içinde bir katkı olarak kullanılabilirliğini ortaya koymak;
13. Terleme ve kasma olaylarını azaltmak;
14. Kaplamaların tabaka kalınlığını azaltmak;
15. Geliştirilmiş çatlak dolgusu sağlamak;
16. Yakıt döküntülerine karşı dayanım artışı sağlamak;
17. Kaplamaların ömür döngü maliyetini azaltmaktır.

Avrupa Asfalt Üstyapı Birliğinin (EAPA) 2014-2017 yıllarına ait verilere bakıldığında Avrupa Birliği ülkelerinin bitüm kullanma miktarı ülkemize göre düşük olmasına rağmen modifiye bitüm kullanma oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin Almanya'da 2017 yılında tüketilen bitüm miktarı 1,71 milyon ton olup bu miktarın %29,3'ü modifiye bitüm olarak kullanılmıştır. Ancak ülkemizde o yılda tüketilen bitüm miktarı 3,62 milyon ton olmasına rağmen sadece %2,8'i modifiye bitüm olarak kullanılmıştır. Bu rakamlar bize ülkemizde bitüm özelliklerini iyileştirmede en sık kullanılan modifikasyon işleminin gerekenden daha az yapıldığını göstermektedir (EAPA, 2021).

Esnek üstyapılarda, trafik yükü ve iklim koşullarının sebep olduğu deformasyonlar ve bunun sonucunda meydana gelen ekonomik ve çevresel kayıplar ele alındığında kullanılan bağlayıcının performans özelliklerinin iyileştirilmesi için modifikasyon işlemi zorunluluk haline gelmiştir.

Bu makalede literatürde yapılmış olan çalışmalarda katkı olarak kullanılan nano malzemeler ve bu katkıların bitümün fiziksel ve reolojik özelliklerine olan araştırılmış ve bu araştırmalar neticesinde elde edilen bulgular sunularak araştırmacılar için farklı bir bakış açısı oluşturulması amaçlanmıştır.

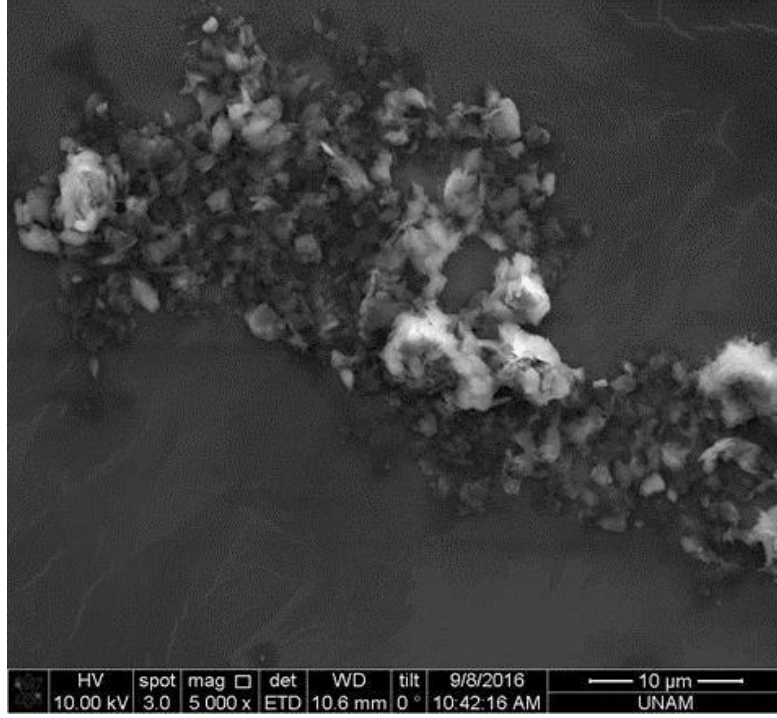
Bitüm Modifikasyonunda Kullanılan Nano Malzemeler ve Bitüm Üzerindeki Etkileri

Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneğinin (ASMÜD) yayınladığı raporda 2015 yılında Türkiye’de yol yapım çalışmalarında 2,7 milyon ton bitüm kullanıldığı ve bunun %3,9’unun modifiye edilmiş bitüm olduğu belirtilmiştir (ASMÜD, 2017). Avrupa Asfalt Üstyapı Birliğinin (EAPA) Avrupa Birliği ülkelerine ait 2009 yılı istatistiklerinde ise bitüm tüketiminin yaklaşık 16,5 milyon ton olduğu ve bu miktarın yaklaşık 1,5 milyon tonluk kısmının ise polimer modifiye bitüm olduğu görülmektedir (Zhu ve ark., 2014; EAPA, 2015). Ancak polimer katkıları bitümün dayanımı ve performansında iyileşme sağlamasına rağmen araştırmacılar %0,3-1 oranında katılan polimerlerin, %90 oranında emilimi azalttığını ortaya koymuşlardır (Fu ve ark., 2007). Bunun sebebi modifikasyon sonucunda oluşan polimerik fazın koruyucu bir katman oluşturmasıdır. Ayrıca modifikasyonda en çok kullanılan polimer olan Stiren-Butadien-Stiren (SBS) triblok kopolimerinin yüksek sıcaklığa olan duyarlılığı ve bitümle olan yoğunluk farkından dolayı depolanma sırasında karışım içerisinde ayrışma meydana getirmesidir (Fang ve ark., 2013). Polimerlerin bu tür dezavantajları sebebiyle araştırmacılar farklı katkı arayışına girmiş ve nano malzemeler üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Nano malzemeler; boyutları 1 ile 100 nanometre arasında değişen partiküllerdir. Bir nanometre, metrenin milyarda biridir. Literatürde yapılmış olan çalışmalarda bitüm, nano malzemeler grubunda olan nanokiller, nano-SiO₂, nano-CaCO₃, nano-TiO₂, karbon siyahı nanotozu ve daha başka katkı malzemelerle modifiye edilerek, çeşitli testler uygulanmış ve bitümün reolojik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda nano malzemelerle modifikasyonun bitümün özelliklerini iyileştirmesi açısından olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Nanokil ve Çeşitleri

Kil mineralleri; doğada bol miktarda bulunan, su içeren, dane boyutu 0,002 mm’den daha küçük olan ve içerisinde en çok kalker, silis, mika, demir oksit mineralleri bulunduran sarı ve kırmızımsı turak renklerde tabakalı yapıya sahip alümina silikatlarıdır. Kil katmanlarının birbirinden ayrılmasıyla, geniş bir aktif yüzey (700-800 m²/g’a kadar) alanına sahip nanokiller meydana gelmektedir. Nanokillerin boyut yüksekliği 1 nm ve yüzey genişliği 100 nm ile 500 nm arasında değişmektedir. Normal killerle nanokilleri birbirinden ayıran temel kavram boyut farklılığıdır. Ayrıca organik monomer ve polimerlerle uyumlu hale getirilmesi için modifiye edilebilmektedir. Şekil 1’de görsel olarak verilen nanokil, aktif yüzeyinin geniş olması ve katmanlı yapısından dolayı bitümle yoğun bir etkileşime girebilmektedir (Yanga ve Tighe, 2013; Li ve ark., 2017).



Şekil 1. Nanokil SEM görüntüsü (Anonim, 2021)

Bitüm modifikasyonunda nanokil olarak en çok kullanılan montmorillonit, diğer nanokil çeşitlerinden olan klosoit ve bentoniti oluşturan temel kil mineralidir. Nanokil grupları içerisinde şişme, yani bünyesindeki suyu tutma özelliği en çok montmorillonitte görülmektedir. Kütlelerinin birkaç katı kadar suyu bünyesinde tutarak hacmini genişletebilmesi diğer özellikleri de önemli derecede etkilediği için şişme özelliği büyük önem taşımaktadır. Tabakalı yapıya sahip montmorillonitin tabakalarının arasında sodyum (Na) ve kalsiyum (Ca) katyonları bulunmaktadır. Bu katyonlar yer değiştirme özelliğine sahiptir ve yer değiştirme tepkimesi sonucu nanokil, farklı özelliklerde başka minerallere dönüşebilmektedir. Bu değişim miktarı ise 100 gramlık örnekte yer değiştirebilen katyonların mili eşdeğer miktarı olarak tanımlanır. Birimi meq/100 g'dır. Diğer bir nanokil çeşidi olan bentonit ise yapısında %50'den fazla montmorillonit içeren ve doğada bulunabilen bir mineraldir. Alüminyum ve magnezyum açısından zengin volkanik kayaların yıllar süren kimyasal ayrışması sonucu meydana gelmektedirler. Diğer nanokiller gibi geniş bir aktif yüzeye sahiptir. Bentonitler; Ca, Na ve Na-Ca montmorillonitlerden oluşmasına göre kimyasal özellikleri ve kullanım yerleri değişmektedir. Yüksek şişme kapasitesine sahip Na bentonit su ile temasta kendi hacminin 8-10 katı kadar şişerken, Ca- bentonitin ise şişme oranı 2-3 katı kadar olmaktadır. Bu tür killer sodyum karbonat (Na_2CO_3) ile etkileşime girdiğinde, Na/Ca iyon yer değiştirmesi sonucunda şişme kapasitesi artırılabilir (MTA, 2019).

Killer, hidrofilik yani suyu seven bir yapıdadır. Su fazında oldukça iyi dağılmaktadırlar; ancak endüstriyel alanlarda kullanılmaları için organik fazlarda dağılan yani organofilik yapıya sahip olmaları gerekmektedir. Killerin organokillere dönüşmeleri, basit bir yer değiştirme tepkimesi

sonrasında gerçekleşir. Tepkime sonrasında kilin yüzeyi organofilik özellik kazanmakta ve organik fazlarda dağılması sağlanmış olmaktadır (Koroğlu, 2014). Klosoit ise montmorillonitin içerisindeki iyonların yer değiştirmesiyle elde edilen organik modifiye nanokildir. Birçok araştırmacı nanokillerin bu tür özelliklerinden faydalanılarak bitümün özelliklerini iyileştirme yoluna gitmiştir. Iskender (2016) yaptığı çalışmada nano boyutuna getirilen bentonit kilini kullanmış ve çeşitli organik katkıları kullanarak üç farklı türde nanokil elde etmiş ve bitümle modifiye etmiştir. Modifiye edilen bitümlerin soyulma, çatlama ve tekerlek izi gibi deformasyonlara karşı dirençleri test edilmiştir. Elde edilen nanokiller, nanokil A, nanokil B ve nanokil C olarak adlandırmış ve bu yeni nano malzemeleri her biri için %2, %3,5 ve %5 oranlarında bitümle modifiye ederek bitümdeki mekanik değişimleri incelemiştir. Marshall Stabilite ve Tekrarlı Sünme Testi yapılarak bu deneylerden elde edilen çekme dayanımı oranına göre karışımın neme karşı dayanımı araştırılmış ve nanokilin optimum değeri araştırılmıştır. Sonuçlara göre İndirekt Çekme Dayanımı, Marshall Stabiliteye göre daha düşük çekme dayanımı oranını vermiştir. Koşullandırma yöntemlerinden biri olan AASHTO T 283 yani "Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımın Neme Bağlı Hasara Karşı Direnci" yöntemi neme karşı duyarlılığın tespitinde daha etkili olduğu gözlemlenmiş ve %2 nanokil miktarının efektif olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan analizler sonucunda nanokille modifiye edilen bitümün, saf bitüme göre oksidasyon ile yaşlanma, tekerlek izi, yorulma çatlama ve çekmeye karşı dayanımının iyileştiği ortaya çıkmıştır.

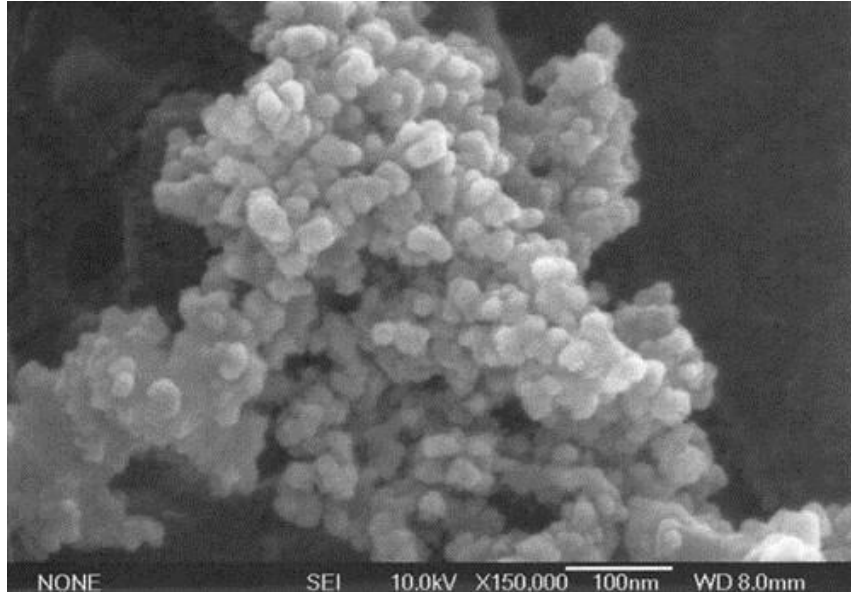
You ve ark. (2011), katkı olarak montmorillonite farklı iki organik katkı ekleyerek; nanokil A ve nanokil B adında iki yeni nanokil elde etmiş ve ağırlıkça %2 ve %4 oranında kullanarak bitümle modifiye etmiştir. Montmorillonite, %35-45 Dimetil Diyakilamine ekleyerek nanokil A, %35-45 Octadesylamine ve %0,5-5 Aminopopyl-Triethoxylane ekleyerek nanokil B elde etmiştir. Yapılan Dinamik Kesme Reometresi (DSR) testi sonucunda bitüm, %2 oranında nanokil A ile modifiye edildiğinde kompleks kesme modülü (G^*) %66 artmış, %4 oranında modifiye edildiğinde ise %125 artış göstermiştir. %2 ve %4 nanokil B eklenmesiyle G^* sırasıyla, %184 ve %196 oranında artmıştır. Kompleks kesme modülünde meydana gelen bu artış bize bitümdeki kopma uzamasının azaldığı ve kesme dayanımının iyileştiğini göstermektedir.

Yao ve ark. (2013), bitümü; nanomer 1,44p, karbon mikrofiber, modifiye edilmemiş nanokil, polimer modifiye nanokil olmak üzere dört farklı katkı malzemesi kullanarak modifiye etmiş ve karışımda meydana gelen değişimleri incelemiştir. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) deneyi ile modifiye bitümlerin tekerlek izi ve yorulma çatlaklarına karşı dayanım ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) testi ile nano malzemelerin karışım içinde oluşturdukları mikro-yapı değişimini incelemiştir. DSR analizi sonuçlarında nano malzemenin G^* modülünü artırdığı ve dayanım performansını iyileştirdiği ortaya çıkmıştır. Çalışmada kullanılan polimer modifiye nanokilin dayanım performansında efektif olmadığı ancak kullanılan nanomer 1,44p, karbon mikrofiber, modifiye edilmemiş nanokil, katkılarının bitümün oksidasyon oranını azaltarak yorulma ve tekerlek izi çatlaklarına karşı direncin arttığı ortaya çıkmıştır.

Farias ve ark. (2016), organokil (OMMT), Cloisite® 20 A (CLO) ve Stiren-Butadien-Stiren (SBS) katkı malzemeleriyle ile bitümü modifiye etmiş ve karışımın performansını değerlendirmek için deneyler yapmıştır. Çalışmada yapılan DSR analizi sonucunda modifiye edilen bitümlerden, yüksek G^* modülü ve düşük faz açısı elde etmiştir. G^* modülünün yüksek çıkması, tekerlek izi deformasyonuna karşı dayanımın yüksek olduğunu göstermektedir. CLO'nun yüksek sıcaklıklarda depolama stabilitesini iyileştirdiği ortaya çıkmıştır. SBS/nanokil ve sadece SBS modifiyeli bitümler yakın sonuçlar vermiştir. Ancak ekonomik açıdan nanokiller daha uygun olduğu için SBS'e göre tercih edilebilir sonucunu çıkarmıştır.

Nanosilika (Nano-SiO₂)

Nanosilika, esas olarak silis kaynaklardan elde edilen inorganik bir malzemedir. Silikalar genelde sol-gel tekniği ile elde edilirler. Sol-gel metodu, düşük sıcaklıklarda çözüldüğü kimyasal reaksiyonlar yoluyla inorganik bir polimer ağının sentezini içerir. Bazı koşullar altında örneğin büyüme kısıtlaması gibi durumlarda sol-gel yöntemiyle silika sentezi sırasında silika çökelir (Hassan ve ark., 2013).



Şekil 2. Nanosilika SEM görüntüsü (Anonim, 2021)

Nanosilika; ilaç, ilaç dağıtımı ve tarım gibi alanlarda kullanımı yaygındır. Esnek üstyapı alanında ise bitümün özelliklerini iyileştirmek için kullanılan bir nano malzemedir. Nano-SiO₂'nin iyi dağılma kabiliyeti, stabilitesinin çok iyi olması ve aktif yüzeyinin geniş olmasının yanı sıra, saf bitümün performansını iyileştirdiği yapılan bazı çalışmalarla ortaya konulmuştur.

Ezzat ve ark. (2016), katkı malzemesi olarak silis tozundan, nanosilika ve pirinç çentiğinden ise nanokil elde ederek farklı oranlarda bitüm ile modifiye etmiş ve çeşitli testlerle bitümde meydana

gelen reolojik özellikleri incelemiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre nanokil, bitümün penetrasyonunu artırmış ve yumuşama noktasını düşürmüştür. Ancak nanosilika tam tersi etki göstermiştir. Sıcaklık artışı 150 °C'ye çıkarıldığında ise nanosilika ve nanokil için katılma oranı artırıldığında kıvam artmış, ancak nanokil eklenmiş bitümde belirli bir orandan sonra viskozitede azalma meydana gelmiştir. Son olarak, DSR sonuçlarına göre kullanılan tüm nano malzemeler, bitümde kalıcı deformasyona karşı dahayüksek direnç sağlayan belirgin bir iyileşme göstermiştir.

Balaa ve ark. (2018), nanosilikanın, polipropilen modifiyeli bitüm bağlayıcıların performans özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Polipropilenin ağırlıkça %5 oranda bitümle modifiye edilmesiyle elde edilen bitümlü bağlayıcıya %1-%4 arasındaki oranlarda nanosilika ekleyerek performans analizlerinden; Eğilme Dört Nokta Kiriş Yorulma, İndirekt Çekme Dayanımı ve İndirekt Çekme Rijitlik Modülü analizlerini yapmıştır. Yapılan analizler sonucunda nanosilika malzemesinin, polipropilen modifiyeli bağlayıcının yorulma dayanımını artırdığı ve nanosilika malzemesinin, polimer modifiyeli bağlayıcıların performans özelliklerini iyileştirmede önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

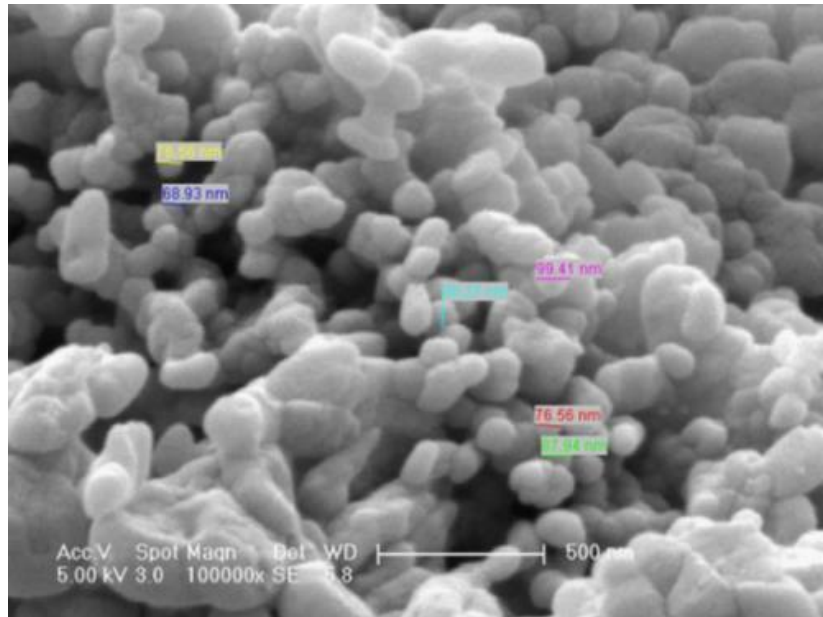
Yusoff ve ark. (2019), polimer modifiye bitümü (PMB), %2, %4 ve %6 oranlarda nanosilika ile modifiye ederek bitümün tekerlek izi, yorulma ve yaşlanmaya karşı dayanımı ve viskoelastik özelliklerine olan etkisini çeşitli performans deneyleri yaparak araştırmıştır. Deneyler, yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış nanosilika modifiyeli PMB numuneler üzerinde yapılmıştır. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), X Işın Kırınımı, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Dinamik Kayma Reometresi (DSR); sırasıyla modifiye bitümün, mikro yapısını ve reolojik özelliklerini belirlemek için kullanmıştır. Sonrasında DSR ile elde edilen kompleks kesme modülü ve faz açısı değerlerini kullanarak Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı Modeli ile modifiye edilmiş PMB'nin kompleks kesme modülü ve faz açısı değerlerini en iyi tahmin edebilen algoritmalar araştırmıştır. Yapılan testler sonucunda %6 oranında nanosilika ile modifiye edilen PMB'lerin viskoelastik özelliklerinin iyileştiği ve yaşlanmayı geciktirdiği ortaya çıkmıştır. Yüksek sıcaklıklarda, karışımın kompleks kesme modülünde belirgin bir artışın meydana gelmesiyle nanosilikaların yorulma çatlakları ve tekerlek izi deformasyonlarına karşı daha yüksek direnç sağladığı ortaya çıkmıştır.

Saltan ve ark. (2017), bitümlü sıcak karışım (BSK) ile %0,1; %0,3 ve %0,5 oranlarında nanosilika malzemesini modifiye ederek tekerlek izi, yaşlanma, yorulma, süneklik ve neme karşı dayanım performanslarını belirleyerek kıyaslamalar yapmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile modifiye bitümlerin görüntüleri alınarak nanosilikanın bitüm içerisindeki dağılımı incelenmiştir. PG 64-22 kullanılarak modifiye edilen bitümlü sıcak karışımlarına önce Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) ve Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV) ile kısa dönem ve uzun dönem yaşlandırma işlemini uygulamıştır. Sonrasında saf bitüm ve modifiye bitümler üzerinde Dinamik Kesme Reometresi (DSR), Eğilme Kiriş Reometresi (BBR), Dönel Vizkozimetre (RV) ve Modifiye Lottman testleri yapılarak karşılaştırmalar yapılmış ve en iyi performansı gösteren modifikasyon

oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca Superpave tasarım esaslarına göre belirlenen optimum bitüm oranında, modifikasyon sonucundameydana değişimler incelenmiştir. Optimum bitüm oranı ise baz bitümde %4,5 çıkmış ancak %0,3 ile modifiye edilen bitümde bu oran %4,44 çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %0,3 oranında kullanılan nanosilika'nın tekerlek izi, yaşlanma, süneklik, neme karşı dayanımında ve optimum bitüm oranı belirlemede diğer uygulanan oranlara ve baz bitüme göre daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Nano Kalsiyum Karbonat (Nano-CaCO₃)

Kalsiyum karbonat; kalsit, aragonit ve vaterit gibi üç farklı susuz formda bulunmaktadır. Standart koşullarda kalsit, kalsiyum karbonatın en kararlı formudur. Kalsiyum karbonat; mürekkep, eczacılık, plastik, elektronik, optik, kağıt ve seramik gibi çeşitli endüstrilerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde, termoplastiklerde kullanılan dolgu malzemelerinin %80'inden fazlası kalsiyum karbonattır. Kalsiyum karbonatın dolgu malzemesi olarak kullanılması maliyeti önemli ölçüde azaltmakta ve genelde kompozit malzemenin fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Şekil 3'te görsel olarak verilen nano kalsiyum karbonatın temel maddesi nano kalsittir. Nano kalsit ise yeniden kristallenme yöntemi ile üretilmektedir. Doğadan çıkarılan CaCO₃ minerali yaklaşık 900 °C sıcaklıkta kalsiyum oksite (CaO) dönüştürülür; kalsiyum oksitin su ile hidrasyonu sonucu kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) elde edilir. Ca(OH)₂ içerisinden karbondioksit (CO₂) geçirilerek yeniden kristallendirme yöntemiyle CaCO₃ elde edilmiş olur. Hammaddeler kolaylıkla doğada bulunabildiği ve maliyeti düşük olduğu için endüstriyel ölçekte yeniden kristallenme ile istenen özelliklerde CaCO₃ elde edilebilmektedir (Anonim, 2019).



Şekil 3. Nano Kalsiyum Karbonat SEM Görüntüsü (Gök,2011)

Liu ve ark. (2016), ham bitümü önce %6 oranında polietilen (PE) ekleyerek modifiye etmiş daha sonra polietilen ile modifiye ettiği bitümü yine aynı oranda (%6) nano-CaCO₃ ile modifiye etmiştir. Modifiye edilen her iki bitüm üzerinde fiziksel ve reolojik özelliklerini belirlemek için çeşitli deneyler yapmış ve performanslarını karşılaştırmıştır. Nano kalsiyum karbonatın eklenmesiyle bitümün yumuşama noktasında artış, penetrasyonunda ise azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Oluşan bu değişimler sonucunda, PE modifiyeli bitüme ilave edilen nano-CaCO₃ katkısının, bitümün yüksek sıcaklık stabilitesini ve düşük sıcaklıkta çatlama direncini olumlu yönde etkilediği ortaya çıkmıştır.

Ghanoon ve ark. (2020), PG64-22 bitümü, %2, %4 ve %6 oranlarda nano-CaCO₃, nanokil ve %3 Stiren-Butadien-Stiren (SBS) katkı malzemeleriyle ağırlıkça ayrı ayrı ve farklı kombinasyonlar yaparak modifiye etmiştir. Bu çalışma modifiye edilen bitümün; reolojik özelliklerinde meydana gelen değişimleri, tekerlek izi ve düşük sıcaklıklardaki performansını araştırmak için yapılmıştır. Numuneler üzerinde Dinamik Kayma Reometresi (DSR) ve Çoklu Gerilme Sürünme Geri Kazanımı (MSCR) testleri yapılmıştır. Analizler sonucunda nanokilin optimum %6 oranında katılmasıyla bağlayıcının reolojik özelliklerini ve tekerlek izi direncini iyileştirdiği ortaya çıkmıştır. MSCR analizine göre en düşük stres duyarlılığı, artan sıcaklıkta %2 ve %6 nanokil modifiyeli bitümde ortaya çıkmıştır. %3 SBS katkısının bitüme yapmış olduğu etki, nanokilin yaptığı etkiye yakın olmasa da bitümün özelliklerini geliştirmekte iyi sonuç vermiştir. Çalışma sonucunda bitüm modifikasyonunda kullanılan ve en iyi sonucu veren %3 SBS, %4 nanokil ve %6 nano-CaCO₃ kombinasyonu olmuştur. Ek olarak kombinasyonlar içerisinde bulunan nano-CaCO₃, nanokile göre daha efektif bir performans göstermiştir.

Hao ve ark. (2012), bitüm modifikasyonunda nano kalsiyum karbonatı %3, %6 ve %9 oranlarda kullanmış, çeşitli deneyler yaparak bitümün, penetrasyon, duktilite, yumuşama noktası, dinamik stabilite değerlerini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda karışımın özelliklerini iyileştirmede en iyi katkı oranı %6 olarak belirlenmiştir. Marshall Stabilite deneyinden elde edilen verilere göre nano kalsiyum karbonat bitümün stabilite değerini düşürmüştür ancak suya karşı dayanımını iyileştirmiştir. Nano kalsiyum karbonat karışımın dinamik stabilitesinde iyileşme sağlamasıyla yüksek sıcaklık performansında geliştiğini göstermiştir. Ayrıca bitümün penetrasyon ve duktilite özelliklerini iyileştirmiş ve yumuşama noktasını düşürdüğü ortaya çıkmıştır.

Karbon Siyahı Nanotozu

Karbon siyahı, gaz veya yağ gibi hidrokarbon yakıtların yüksek sıcaklıklarda (1320 °C ile 1540 °C) bozunmasıyla elde edilen hidrokarbon buharında bulunan elementel karbonun bir yüzeyde toplanması sonucu elde edilmektedir. Lastik endüstrisinde kauçuğu güçlendirmek için kullanılmaktadır. Ayrıca bu malzemenin kullanıldığı alanlar arasında; yüzey kaplamaları, baskı mürekkepleri, taşıyıcı ve konveyör bantlar, siyah poşetler, araba yedek parçaları ve taşıt lastikleri

sayılabilir. Şekil 4'te örneği gösterilen karbon siyahı nanotozu; 10-500 nanometre (nm) boyutunda ve %98 ile %99,7 oranlarında karbon içeren küresel parçacık formdadır. Yüzey alanları 10 m²/g ile 300 m²/g arasında değişmektedir. Kullanılan hammaddeye, yanma koşuluna ve ısıl ayrışmaya bağlı olarak birçok karbon siyahı derecesi vardır (MEB, 2020).

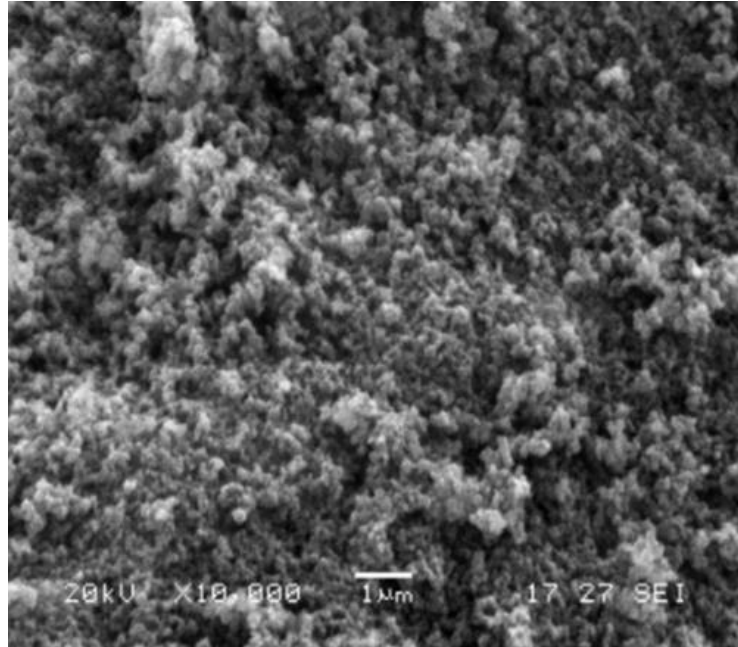
Üretim tekniğine göre dört farklı karbon siyahı tanımlanmaktadır;

- Fırın Siyahları (Furnace Black); hidrokarbonların ön ısıtmadan geçirilerek içerisinde az miktarda oksijen bulunan fırınlarda 1200-1700 °C sıcaklıkta yakılması ile elde edilmektedir. Elde edilen ürün önce filtrelenir, daha sonra siklon ayırıcılardan geçirilerek uçucu gazlardan ayrılır ve kurutulur. Tanecik büyüklüğü 18-85 nm arasında değişmektedir. Fırın siyahları, kauçuk sanayisinde kullanılan temel karbon siyahıdır (MEB, 2020).

- Kanal (Baca) Siyahları (Channel Black); doğal gazın demir plakalar üzerinde kısıtlı oksijen ile yakılmasından elde edilmektedir. Bu yöntemle üretilen karbon siyahının verimi düşük olmakla beraber çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu sebepten dolayı sınırlı olarak üretilmektedir. Tanecik büyüklüğü 15-40 nm arasındadır. İçerdiği oksijen miktarı ise %2,5-%3,5 arasındadır (MEB, 2020).

- Termal Siyahları (Thermal Black); doğal gazın havasız ortamda 1300 °C civarında ısıl parçalanması ile üretilmektedir. Bu grupta üretilen karbon siyah taneleri orta büyüklüktedir (MEB, 2020).

- Asetilen Siyahı; Asetilenin 800–1000 °C'de ekzotermik bozunma sonucu elde edilir (MEB, 2020).



Şekil 4. Karbon Siyahı Nanotozu SEM Görüntüsü (Öztürk, 2020)

Tanzadeh ve ark. (2020), petrokimyasal atıkların geri dönüştürülmesiyle karbon siyahı (CB) ve mikro-karbon siyahı nanotozu (NCB) üretmiştir. PG64-22 sınıfında olan bitümü, ağırlıkça %3, %5, %7 ve %10 olan karbon siyahı (CB) ve ağırlıkça %1, %3, %5 ve %7 nano-CB (NCB) ile modifiye etmiştir. NCB parçacıklarının yapısını, Taramalı Elektron Mikroskobu ve Dinamik Işık Saçılım testi kullanarak incelemiştir. Ayrıca modifiye bitümde, NCB ve CB partiküllerinin serbest yüzey enerjisi parametreleri ve neme karşı dayanım üzerindeki etkileri araştırmıştır. Serbest Yüzey Enerjisi (SFE) metodu kullanılarak kohezyon ve adezyon gibi yüzey serbest enerji parametreleri tanımlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda CB ve NCB partiküllerinin, modifiye bitümün penetrasyon indeksini ve sertlik modülünü artırdığı ortaya çıkmıştır. Toplam serbest yüzey enerjisinin, %10 CB parçacıklarıyla %50 ve %7 NCB parçacıklarıyla ise %80 kadar arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre NCB kullanılan modifiye bitümün serbest yüzey enerjisinin yüksek olması agreganın bitümden ayrılması için gereken enerjinin yüksek olduğunu kısaca adezyonun CB modifiyeli bitüme göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Adezyonun yüksek olması karışımın neme karşı dayanımının artmasını ve depolama stabilitesinin yüksek olmasını sağlamaktadır.

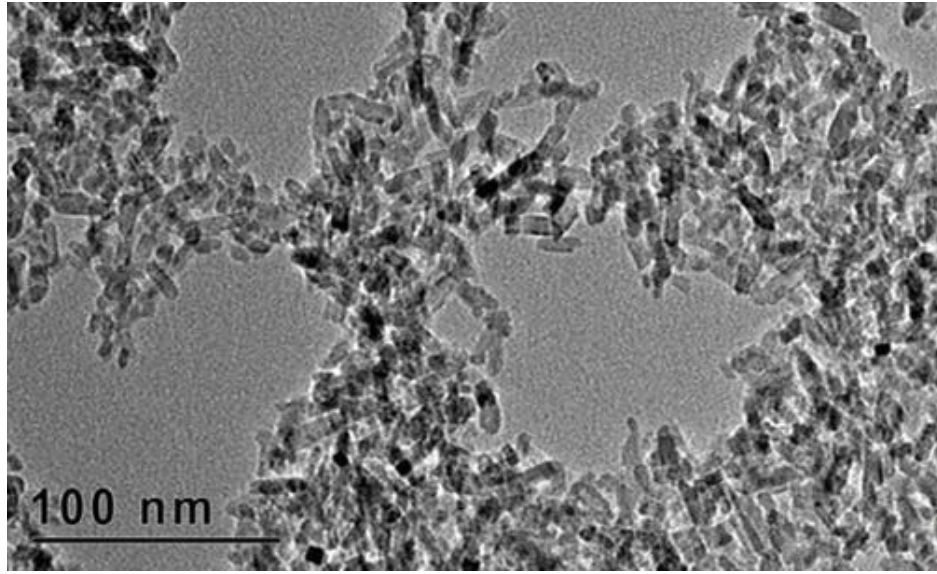
Tanzadeh ve ark. (2020), ömrünü tamamlamış lastiklerden elde edilen kauçuğu piroliz işleminden geçirerek karbon siyahı (CB) malzemesini üretmiştir. Sonrasında ise CB partiküllerinden karbon siyahınanotozu (NCB) elde etmişlerdir. CB ve NCB partiküllerinin boyutları ve karışım içerisindeki dağılımını gözlemlmek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Sonrasında PG64- 22 sınıfında olan bağlayıcıyı farklı CB ve NCB oranları ile modifiye etmiştir. Modifiye bitümün viskozite ve nem duyarlılığında meydana gelen değişimleri incelemiştir. Temel bitüm testleri yaparak modifiye bitümün penetrasyon indeksini ve rijitlik modülünü hesaplamıştır. Farklı oranlar kullanılarak modifiye edilen bitüm ve agregaların (kuvarsit, granit, kireçtaşı ve kumtaşı) farklı kombinasyonları arasındaki kohezyon ve adezyon durumunu Serbest Yüzey Enerjisi (SFE) metodu kullanarak araştırmıştır. Sonuçlar, CB ve NCB partikülleriyle modifiye edilen bitümün penetrasyon indeksi ve sertlik modülünün artırmıştır. Ayrıca SFE' den elde edilen verilere göre kireçtaşı ve kuvarsit en düşük adezyonu göstermiş ve kumtaşının ıslak koşullarda en yüksek yapışmayı sağladığı görülmüştür. Kuru koşullarda ise CB ve NCB'nin karışımdaki oranı arttıkça agrega-bitüm arasındaki adezyonun kuvvetlendiği gözlemlenmiştir. Uyumluluk parametresi (CP) verilerine göre kireçtaşı ve kuvarsitin en uyumlu agrega-bitüm yapısına sahip olduğu CB ve NCB yüzdelерinin artmasıyla, CP değerinin yükseldiği ortaya çıkmıştır.

Raji ve ark. (2018), karbon siyahı nanotozunu (CBNP) PG58-22 sınıflı bitümle modifiye etmiştir. Modifikasyon için CBNP katılma oranı %5 ile %10 olarak belirlemiş ve performanslarını ölçmek için çeşitli deneyler yapmıştır. Penetrasyon, düktilite, depolama stabilitesi, yumuşama noktası, Dinamik Kesme Reometresi ve Pnömatik Adezyon deneyleri yapılarak modifikasyon sonucunda

karışımında meydana gelen tekerlek izi, yapışma, neme karşı dayanım ve depolama sırasında meydana gelen ayrışma durumları incelenmiştir. Araştırmalar sonucunda depolama stabilitesi deneyinde %5 ve %10 oranında katkılarla modifiye edilen ayrı ayrı silindirik kabın içerisine yerleştirilen bitümün, alt ve üst kısımlarından alınan numunelerin arasındaki sıcaklık farkı %5 için 1 °C ve %10 için 1,3 °C çıkmıştır. BS EN 13399 şartnamesine göre yapılan bu deneyde depolama stabilitesi için alt ve üst kısımdan alınannumunelerin arasındaki sıcaklık farkının 2,5 °C geçmemesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada sıcaklık farkının 2,5 °C'yi geçmediği ve CBNP malzemesinin stabil şekilde davrandığı ortaya çıkmıştır. Diğer deneyler sonucunda %10 oranında kullanılan CBNP modifiyeli bitümün tekerlek izi, adezyon ve nemekarşı dayanım performanslarını iyileştirdiği ortaya çıkmıştır.

Nano Titanyum Dioksit (Nano-TiO₂)

Titanyum dioksit, oksijen ile titanyumun tepkimesi sonucunda oluşan bir mineraldir. Bu mineral doğal halde ya da rafine edilerek işlenmektedir. Doğada, anataz ve rutil olmak üzere farklı kristaller halinde olsa da işlendiğinde, öğütülerek toz haline getirilmektedir. Titanyum dioksit; boya, plastik, mürekkep, kauçuk ve kozmetik ürünlerinde beyazlatma amacıyla ve beyaz renkli olan; un, şeker, sakız ve tuz gibi ürünlerin, daha parlak ve beyaz görünmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca UV ışınlarına karşı duyarlı olan gıdalarda ise, gıdanın raf ömrünü uzatmak ve bozulmayı önlemek için kullanılmaktadır (Anonim, 2021).



Şekil 5. Nano Titanyum Dioksit SEM Görüntüsü (Anonim, 2021)

Şekil 5'te görülen nano titanyum dioksit, %80 anataz ve %20 rutilden oluşmakta, özgül yüzey alanı yaklaşık 50 m²/g ve ortalama boyutu ise 21 nm'dir. Nano-TiO₂, sıradan titanyum dioksit (TiO₂) ile karşılaştırıldığında %500 daha yüksek yüzey alanı ve %400 daha az ışık geçirme özelliğine sahiptir (Anonim, 2021).

Shafabakhsh ve ark. (2015), katkı malzemesi olarak çelik cüruf içeren bitümlü sıcak karışımın deformasyona karşı performansını daha fazla iyileştirmek için nano-TiO₂ ve nano-SiO₂ malzemeleri ile modifiye etmiş, mekanik ve reolojik özelliklerini incelemiştir. Karışımın reolojik özelliklerini belirlemek için penetrasyon, yumuşama noktası, süneklik testi, Dönel Viskozimetre (RV) ve Dinamik Kesme Reometresi (DSR) deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin yanı sıra ham ve modifiye edilmiş bağlayıcılarda optimum bitüm içeriğini belirlemek için bitüm karışımına Marshall Stabilitate testi yapmıştır. Kalıcı deformasyonlara karşı direnci ölçmek ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemek için asfalt beton karışımları üzerinde Tekrarlı Eksenel Yük (RLA) ve Nottingham Asfalt Testi (NAL) yapılmıştır. Yapılan analizlerde, nano-TiO₂ ve nano-SiO₂ ile modifikasyon sonucunda bitümün reolojik özelliklerinde iyileşme meydana geldiği, dayanım ve viskozitenin sırasıyla ortalama %30 ve %109 artarken penetrasyon derecesini düşürdüğü ve yüksek sıcaklık ve gerilme altında karışımın sünek davranışını iyileştirdiği ortaya çıkmıştır.

Zheng ve ark. (2019), güçlü güneş ultraviyole (UV) radyasyonuna, yüksek sıcaklık ve nem dalgalanmalarına direnmek için önerilen nano titanyum dioksit (nano-TiO₂) malzemesini farklı oranlarda (%2, %3, %4) yüksek elastisiteli bitüm (HEA) ile modifiye etmiştir. Modifiye edilmiş HEA'nın performans özelliklerini karşılaştırmak için SBS modifiyeli bitüm kullanılmıştır. Modifiye edilmiş HEA (MHEA) ve HEA karışımlarının performansını araştırmak için birçok laboratuvar çalışması yapmıştır. Elde edilen bu iki karışımın reolojik özellikleri; Dinamik Kesme Reometresi ve Eğilme Kirişi Reometresi deneyleri, UV ışınlarına karşı yaşlanma direnci etkilerini; UV yaşlanma testi ve kaplama performanslarını ise tekerlek izleme testi, Üç Nokta Bükme Kiriş Testi ve Marshall Daldırma testi yapılarak araştırılmıştır. Ayrıca, tekerlek izi direnci, düşük sıcaklıkta çatlama direnci, nem kararlılığı ve donma-çözünme direnci gibi deformasyonlara karşı performansını araştırmıştır. Elde edilen verilere göre, nano-TiO₂ ilave edilmesiyle HEA bitümün yüksek sıcaklık özelliklerini ve UV yaşlanma direncini iyileştirebileceği görülmüştür. Katkı olarak kullanılan nano titanyum dioksitin, HEA bitümünün kaplama performansını, tekerlek izi direnci, düşük sıcaklıkta çatlama direnci ve donma-çözülme gibi etkileri, Stiren-Butadien-Stiren (SBS) ile modifiye edilen HEA karışımlarına oranla yaklaşık iki katınakadar iyileştirebildiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca kaplamalarda meydana gelen kısa dönem termal oksidasyona karşı direnci artırdığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, MHEA karışımının yüksek rakımlı bölgelerdeki bitümlü kaplamalarda uygulanmasının büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Günay ve Ahmedzade (2020) ise bitümü %2 ve %4 oranlarında nano-TiO₂ ve aynı oranlarda nano-TiO₂ ile %3 Stiren-Butadien-Stiren (SBS) birlikte kullanarak modifiye etmiş ve bağlayıcıda meydana gelen değişimleri ve performansları incelemiştir. Modifiye edilen bağlayıcılar üzerinde fiziksel değişimleri incelemek amacıyla yumuşama noktası ve penetrasyon testleri gibi geleneksel test yöntemlerini uygulamıştır. Reolojik karakterizasyonları, zaman-sıcaklık süper-pozisyon prensibi ile kompleks viskozite, depolama (elastik) modülü (G') ve kayıp (viskoz) modülü (G'')

ana eğrilerinin oluşturulmasıyla analiz etmiştir. Ayrıca Superpave tasarım deneyleri içerisinde yer alan ve bağlayıcıların kısa süreli yaşlanma davranışını simüle eden Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT), yüksek sıcaklık performans derecesini (PG) belirlemek için Dinamik Kesme Reometresi (DSR) deneyleri yapılmıştır. Daha sonra yüksek sıcaklık performans sınıfları için önerilen bir yöntem olan Çoklu Gerilme Sürünme Geri Kazanımı (MSCR) testi, kısa süreli yaşlandırılmış bitüme uygulanmıştır. Superpave deneyleri ve MSCR testi uygulanan baz bitüm ve nano modifiye bitümlerin performansları karşılaştırmıştır. Elde edilen bulgulara göre, nano-TiO₂ ilavesi sonrası kısa dönem yaşlanma sırasında meydana gelen kütle kaybını azaltmış ve baz bitüme göre daha iyi kısa dönem yaşlanma performansı göstermiştir. Ancak MSCR analizine göre sadece nano-TiO₂ ile modifiye edilen bağlayıcıda elastiklik özellikleri üzerinde bir etkisi olmadığı görülmüştür. SBS modifiyeli bitüm elastiklik özellikleri geliştirmede daha etkin rol oynamıştır. Her iki katkı malzemesinin birlikte kullanılması ile oluşturulan nanokompozit katkısının sadece SBS katkılı modifikasyona kıyasla daha iyireolojik özelliklere sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Nano Malzemelerle Modifiye Edilen Bitüm için Uygulanan Metotlar

Nano malzemelerle modifiye işleminde, katkılar ile bitümün karıştırılması ve birbiri içinde çözünmesinin sağlanması gerekir. Ancak nano malzemeler ve bitümün kimyasal yapısı, yoğunluğu ve viskozitesinin farklı olmasından dolayı bu işlem farklı şekillerde yapılmaktadır. İki çeşit karıştırma işlemi bulunmaktadır. Bunlar; kuru karıştırma ve çözücüyle karıştırma metotlarıdır. Çözücü ile karıştırma işlemine örnek verilecek olursa You ve ark. (2011), modifikasyonda kullandığı nanokillerin bitüm ile daha homojenize bir şekilde karışması için çözücü olarak organik katkı olan izopropanol kullanmıştır. Ancak bu karıştırma yönteminde katkının bitüm içerisinde daha çok çözünmesine etkisi olsa da daha çok katkı miktarı ve enerji harcanmasına sebep olduğu için pek fazla tercih edilmemektedir(Faramarzi ve ark., 2015).

Nano malzemeler belirli bir sıcaklıkta ve sürede yüksek karıştırma hızı ile homojen bir dağılım elde edilene kadar karıştırılarak modifiye edilmektedir. Yapılan araştırmalarda karıştırma sıcaklığı genellikle 130 °C ile 170 °C arasında değişmekte, karışım hızı 1500-4000 rpm (dk/devir) ve karışım süresi ise kullanılan katkının bitüm içerisindeki dağılımına bağlı olarak 45 ile 180 dakika arasında uygulanmaktadır. Örnek verilecek olursa Saltan ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada nanosilika tozunu 160 °C sıcaklıkta, 4000 rpm hızda ve 2 saat boyunca homojenize olacak şekilde bitümlerle karıştırmıştır. Bitümün modifiye edilmeden önce ve sonra kimyasında meydana gelen değişimler ve dağılımın homojenliği ise Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), X Işın Kırınımı, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) gibi deneylerle incelenmiştir.

Modifiye bitüm elde edildikten sonra karışımın fiziksel, reolojik ve kimyasal yapısını incelemek için çeşitli deneyler yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda reolojik özelliklerin belirlenmesi için Superpave testleri kullanılmıştır. Dinamik Kesme Reometresi (DSR); modifiye bitümün orta ve yüksek sıcaklıkta viskoz ve elastik davranışını incelemek ve deney sonucunda elde edilen kompleks

kesme modülü ve faz açısı değerleri ile karışımın tekerlek izi ve yorulma çatlakları gibi deformasyonlara karşı dayanımı belirlemek için yapılmaktadır. Eğilme Kiriş Reometresi (BBR) ise karışımların düşük sıcaklıkta sünmerijitliğini belirleyerek düşük sıcaklık çatlaklarına karşı dayanım performansını ölçmektedir. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) ve Basıncılı Yaşlandırma Kabı (PAV) deneyleri bitümün ya da karışımların taşıma veya serme esnasında meydana gelen kısa dönem yaşlanma ve kaplama yapıldıktan sonra servis ömrü boyunca oluşan uzun dönem yaşlanmayı temsil etmektedir. İndirekt Çekme Dayanımı, Modifiye Lottman ve Serbet Yüzey Enerjisi analizleri ile nano malzemelerin karışımda nem duyarlılığına karşı gösterdiği etki belirlenmiştir. Dönel Viskozimetre ve Pnömatik Adezyon deneyleri ile modifiye bitümün viskoz özellikleri belirlenerek karışımların adezyon ve kohezyon performansları değerlendirilmiştir.

Literatürde bitüm modifikasyonu çalışmalarında kullanılan nano malzemelerin karışımın performansına etkisi son yıllarda sıkça araştırma konusu olmuştur. Yapılan analizler sonucunda kullanılan nano malzemeler, karışımların düşük ve yüksek sıcaklık etkileri sonucunda meydana gelen tekerlek izi, yorulma ve termal çatlama dayanımlarına karşı direnç sağladığı ortaya çıkmıştır. Neme karşı dayanımda ise nano-CaCO₃, nano-SiO₂ ve nanokiller karışımda yüksek performans göstermiştir. Nano malzemelerin geniş yüzey alanına sahip olmaları bitüm içerisinde daha iyi dağılmasını sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı nano malzemeler karışımın adezyon ve kohezyon özelliklerini artırarak asfalt betonlarında bitümün agregaya daha iyi yapışmasını sağlamaktadır. Nanokil, nano-TiO₂ ve nano-SiO₂ gibi malzemeler oksidasyon ile yaşlanmaya karşı direncinde yüksek performans göstermiştir. Kullanılan nano malzemelerin hepsi kompleks kesme modülünü artırmış ve karışımların reolojik özelliklerinin iyileşmesini sağlamıştır.

Sonuçlar

Bu çalışmada farklı nano malzemeler kullanılarak yapılan bitüm modifikasyonu sonucunda bitümün fiziksel ve reolojik yapısında meydana gelen değişimler incelenmiştir. İnşa edilen esnek üstyapıların her koşulda dayanımının iyi olması ve servis ömrünün uzun olması beklenir. Ancak saf bitüm her zaman bu beklentiyi karşılayamamakta ve servis ömrünü tamamlayamadan deformasyona uğramaktadır. Bu sebepten dolayı üstyapı kaplamasını oluşturan bitümü farklı katkı malzemeleri ile modifiye etmek bir ihtiyaç haline gelmiştir. Nanoteknolojinin gelişmesiyle, üretilen ve farklı alanlarda kullanılan nano kalsiyum karbonat, nano titanyum dioksit, nanosilika ve nanokil gibi malzemeler esnek üstyapılarda da kullanılmış ve incelemeler sonucunda kullanılan her bir malzeme bitümün; tekerlek izi, yorulma çatlakları, termal çatlak ve nem hasarı gibi deformasyonlara karşı dayanımını iyileştirdiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda elde edilen verilere göre kullanılan nano malzemeler içerisinde nano-SiO₂ nem hasarlarına karşı en iyi dayanımı göstermiş, nano-TiO₂ ise hem oksidasyon hem de UV ışınlarından dolayı karışımda meydana gelen yaşlanmalara karşı direnci iyileştirmiştir. Bazı çalışmalarda ise yaygın olarak kullanılan polimerler ile nano

malzemelerin karşılaştırılması yapılmış ve nano malzemelerin performansının daha üstün olduğu ve polimerlere göre daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Kil rezervuarı yüksek olan ülkemizde nanokil üretimi ve bitüm modifikasyonunda üstyapıyı iyileştirme adına kullanımının teşvik edilmesiyle üstyapıda deformasyonlar azaltılarak servis ömrünü tamamlayabilmesi sağlanacak bu sebepten dolayı bakım ve onarım maliyeti düşürülerek ülke ekonomisine katkıda bulunulmuş olacaktır.

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

- ASMÜD. Karayolu ağının kaplama tipine göre oranı. <http://www.asmud.org.tr/>, Erişim tarihi: 25.02.2020.
- ASMÜD. Türkiye'de son 5 yılda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi, <http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=26>, Erişim tarihi: 21.08.2017.
- Balaa N., Napiaha M., Kamaruddina I. Effect of nanosilika particles on polypropylene polymer modified asphalt mixture performance. *Case Studies in Construction Materials* 2018; 8: 447– 454. <https://www.choko.asia/nano-silica.html>, Erişim tarihi: 01.03.2021.
- EAPA. Asphalt in Figures Archive, <https://eapa.org/asphalt-in-figures-archive/>, Erişim tarihi: 28.04.2021.
- EAPA. Asphalt Institute, The Bitumen Industry - A Global Perspective Production, chemistry, use, specification and occupational exposure. 3 Basım. USA, ARRB Group Limited, 2015.
- Ezzat H., El-Badawy S., Gabr A., Zaki ESI., Breakah T. Evaluation of asphalt binders modified with nanoclay and nanosilica. *Proc. Eng.* 2016; 143: 1260-1267.
- Fang C., Yu R., Liu S., Li Y. Nanomaterials applied in asphalt modification: a review. *J. Mater. Sci. Technol.* 2013; 29: 589-594.
- Famarzi M., Arabani M., Haghi AK., Mottaghitalab V. Carbon nanotubes modified asphalt binder: preparation and characterization. *Int. J. Pavement Res. Technol* 2015; 8(1): 29-37.
- Farias LGAT., Leitinho JL., Amoni BC., Bastos JBS., Soares JB., Soares SA., Sant'Ana HB. Effects of nanoclay and nanocomposites on bitumen rheological properties. *Construction and Building Materials* 2016; 125: 873-883.
- Fu H., Xie L., Dou D., Li L., Yu M., Yao S., Storage stability and compatibility of asphalt binder

- modified by SBS graft copolymer. *Construction and Building Materials* 2007; 21: 1528-1533.
<https://www.gelgez.net/nanoteknoloji-parcacigi-titanyum-dioksit-nedir/>, Erişim tarihi: 25.02.2021.
- Ghanoon SA., Tanzadeh J., Mirsepahi M. Laboratory evaluation of the composition of nano-clay, nano-lime and SBS modifiers on rutting resistance of asphalt binder. *Construction and Building Materials* 2020; 238: 117592.
- Gök SB. Nano kalsiyum karbonat eldesi ve α -Amilaz enziminin immobilizasyonunda kullanılması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Organik Kimya Programı, Yüksek lisans tezi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- Günay T., Ahmedzade P. Physical and rheological properties of nano-TiO₂ and nanocomposite modified bitumens. *Construction and Building Materials* 2020; 243: 118208.
- Hao X., Zhang A., Yang W. Study on the performance of nano calcium carbonate modified asphalt concrete AC-13. *Advanced Materials Research*. 2012; 450-451.
- Hassan AF., Abdelghny AM., Elhadidy H., Youssef AM. Synthesis and characterization of high surface area nanosilika from rice husk ash by surfactant-free sol-gel method, *J. Sol-Gel. Sci. Technol* 2013; 69(3): 465-472.
- Ilıcalı M., Tayfur S., Özen H., Sönmez İ., Eren K. Asfalt ve uygulamaları. İstanbul. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları, 2001.
- Iskender E. Evaluation of mechanical properties of nano-clay modified asphalt mixtures. *Measurement* 2016; 93: 359–371.
- Köroğlu FN. Nitrofenollerin iyonik ve iyonik olmayan organobentonitlerle adsorpsiyon ve desorpsiyonu. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2004.
- Lewandowski L. Polymer modification of paving asphalt binders. *Rubber Chemistry and Technology* 1994; 673: 447-480.
- Li R., Xiao F., Amirhanian S., You Z., Huang J. Developments of nano materials and technologies on asphalt materials – A review. *Construction and Building Materials* 2017; 143: 633–648.
- Liu D., Zhang X. Study on properties of nano calcium carbonate and polyethylene complex modified asphalt. 1st International Conference on Transportation Infrastructure and Materials (ICTIM 2016) <http://dpi-roceedings.com/index.php/dtetr/article/download/5492/5112>, Erişim tarihi:08.03.2021.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Bentonit, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bentonit>, Erişim tarihi: 14.03.2019.
- McNally T. 1- Introduction to polymer modified bitumen (PmB), in *Polymer Modified Bitumen*. Woodhead Publishing 2011; 1-21.
- Navarro F., Partal P., Martinez-Boza F., Gallegos C. Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens. *Fuel* 2004; 83: 2041-2049.
- Öztürk İŞ. Çelik lifli betonlarda geri dönüştürülmüş nano karbon siyahı ve kandıra taşı tozunun değerlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Türkiye, 2020.

- Rafi J., Kamal MA., Ahmad N., Hafeez M., Faizan ul Haq M., Aamara AS., Shabbir F., Bilal AZS. Performance evaluation of carbon black nano-particle reinforced asphalt mixture. *Applied Sciences* 2018; 8(7):1114.
- Saltan M., Terzi S., Karahançer S. Examination of hot mix asphalt and binder performance modified with nano silica. *Construction and Building Materials* 2017; 156: 976–984.
<http://www.sanayisurasi.gov.tr/pdfs/delikli-nano-caco3-uretimi.pdf> ., Erişim tarihi: 25.03.2019.
- Shafabakhsh GH., Jafari AO. Experimental investigation of effect of Nano TiO₂/SiO₂ modified bitumen on the rutting and fatigue performance of asphalt mixtures containing steel slag aggregates. *Construction and Building Materials* 2015; 98: 692–702.
<https://shop.nanografi.com.tr/nanokil-safl-k-99-9-boyut-800-nm/>, Erişim tarihi: 28.02.2021.
- Tanzadeh R., Shafabakhsh G. Surface free energy and adhesion energy evaluation of modified bitumen with recycled carbon black (micro-nano) from gases and petrochemical waste. *Construction and Building Materials* 2020; 245: 118361.
- Tanzadeh R., Shafabakhsh G. Relationship between the surface free energy and stiffness modulus of bitumen modified with micro-nano-carbon black from end-of-life tires. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2020; 100: 102606.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Kimya Teknolojisi Karbon Karaları ve Testleri,http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Karbon%20Karalar%C4%B1%20Ve%20Testleri.pdf, Erişim tarihi:08.03.2020.
- Yanga J., Tighe S. A review of advances of Nanotechnology in asphalt mixtures. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2013; 96: 1269-1276.
- Yao H., You Z., Liang L., Goh SW., Lee CH., Yap YK., Shi X. Rheological properties and chemical analysis of nanoclay and carbon microfiber modified asphalt with Fourier transform infrared spectroscopy. *Construction and Building Materials* 2013; 38: 327–337.
- You Z., Mills-Beale J., Foley JM., Roy S., Odegard GM., Dai Q. Nanoclaymodified asphalt materials: preparation and characterization. *Constr. Build. Mater.* 2011; 25(2): 1072–1078.
- Yu, JYZ., Feng G., Zhang HL. 9- Ageing of polymer modified bitumen (PMB) A2- McNally, Tony, in *Polymer Modified Bitumen*, ed: Woodhead Publishing 2011; 264-297.
- Yusoff NIMD., Alhamali DI., Ibrahim ANH., Rosyidi SAP., Hassan NA. Engineering characteristics of nanosilika/polymer-modified bitumen and predicting their rheological properties using multilayer perceptron neural network model. *Construction and Building Materials* 2019; 204: 781–799.
- Zheng D., Qian Z., Li P., Wang L. Performance evaluation of high-elasticity asphalt mixture containing inorganic nano-titanium dioxide for applications in high altitude regions. *Construction and Building Materials* 2019; 199: 594–600.
- Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal* 2014; 54: 18-38.

Banach Uzaylarda s-Sayı Fonksiyonları

Lale CONA^{1*}, Ünal Kemal ALKAN²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Matematik Bölümü, 29100, Gümüşhane, Türkiye

²Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Matematik Bölümü, 29100, Gümüşhane, Türkiye

¹<http://orcid.org/0000-0002-2744-1960>;

²<http://orcid.org/0000-0002-9857-9182>

* Sorumlu yazar: lalecona@gumushane.edu.tr

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 02.08.2021

Kabul tarihi: 12.11.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

s-sayıları

Özdeğerler

Yaklaşım sayıları

Weyl sayıları

ÖZ

Bu çalışmada, Banach uzaylarında lineer sınırlı operatörler için s-sayı fonksiyonları üzerine bir araştırma yapılmıştır. Birinci bölümde, s-sayı fonksiyonlarının gelişimi ve kullanıldığı yerler üzerine bilgi verilmiştir. İkinci bölümde bazı temel kavramlar hatırlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise bazı önemli s-sayı örnekleri verilmiştir. Ayrıca, farklı operatörler için s-sayıları arasındaki bağıntılara yer verilmiştir. Böylece bir bütün olarak Banach uzaylarında s-sayılarının aksiyomatik teorisi sunulmuştur.

s-Number Functions in Banach Spaces

Reviews

Article History:

Received: 02.08.2021

Accepted: 12.11.2021

Published online: 08.03.2022

Keywords:

s-numbers

Eigenvalues

Approach numbers

Weyl numbers

ABSTRACT

In this paper, a research on s-number functions for linear bounded operators in Banach spaces is studied. In the first chapter, information on the development of s-number functions and their usage is given. In the second part, some basic concepts are reminded. In the third part, some important examples of s-numbers are given. Also, the relations between s-numbers for different operators are given. Thus, the axiomatic theory of s-numbers in Banach spaces as a whole is presented.

To Cite: Cona L., Alkan ÜK. Banach Uzaylarda s-Sayı Fonksiyonları. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):449-471.

Giriş

Yapılan literatür taramasından s-sayıları veya singüler sayılar (singuläre zahlen) kavramının ilk olarak Schmidt'in non-selfadjoint integral operatör teorisi alanındaki (Schmidt, 1907) çalışmasında yer verildiği ve bu kavramın ilk olarak bu çalışmada kullanılmaya başlandığı anlaşılmaktadır. von Neumann ve Schatten'in (Von Neumann ve Schatten, 1948) çalışmalarında bu kavramı Hilbert uzaylarındaki lineer sınırlı operatörlerle ilişkilendirdikleri görülmektedir. Gohberg ve Krein'nin (Gohberg ve Krein, 1971) kitabında Hilbert uzayındaki operatörlerin s-sayılarının mükemmel teorisine yer verilmiştir. İncelenen çalışmalardan sonra, Banach uzaylarında yer alan s-sayılarının farklı

tanımlarının olduğu görülmektedir. Bu kapsamda yapılan ilk çalışmaların ise Kolmogorov (Kolmogorov, 1936) ve Gelfand'a (Gelfand, 1938) ait olduğu tespit edilmiştir.

Pietsch'in (Pietsch, 1963) çalışmasında "yaklaşım sayıları" üzerinde durduğu görülmektedir. Ayrıca Pietsch s-sayılarının Banach uzaylarındaki aksiyomatik teorisini ilk olarak (Pietsch, 1974) makalesinde incelemiştir, Pietsch (1980a) ile Pietsch (1987) kitaplarında ise kapsamlı ve sistematik olarak ele almıştır. Tarihsel süreç içerisinde konu hakkında birçok bilimsel çalışmanın yapıldığı ve dizilerin ve fonksiyonların Hilbert uzayında bazı operatörlerin s-sayılarının hesaplanmasına kaynak oluşturduğu tespit edilmiştir. Yapılan kapsamlı literatür taramasında özellikle 1980'li yıllardan sonra yapılan bilimsel çalışmalarda Banach uzaylarındaki lineer sınırlı operatörlerin s-sayıları, pseudo-s-sayıları, quasi-s-sayıları, yaklaşım sayıları, Gelfand sayıları, Kolmogorov sayıları, entropi sayıları vs. ile özdeğerleri arasındaki bağlantının araştırıldığı görülmüştür (Weyl, 1946; Carl ve ark., 1985, 2007, 2009, 2010; Hincichs, 2005; König, 1978, 1980, 2001, 2008). Bütün bu bilgiler değerlendirildiğinde Banach uzaylar da tanımlı her bir operatör için; yaklaşım sayıları, Gelfand sayıları, Kolmogorov sayıları gibi bir s-sayı dizisi tanımlayabilmek mümkündür.

Sürekli gelişen literatürde yapılan çalışmalar, çok noktalı diferensiyel operatörler teorisi ve katıhal cisim fiziğinde karşılaşılan birçok probleminin ancak Hilbert veya Banach uzaylarının direkt toplamı üzerinde kolayca çözülebileceğini ortaya koymaktadır (Kocubei, 1979; Aksoy ve ark., 1997; Bandtlow ve ark., 2015; Barramov ve ark., 2012). Bu bağlamda alana katkı sağlayabilecek Banach uzaylarının direkt toplamı üzerinde tanımlanan direkt toplam operatörünün bazı s-sayı fonksiyonları ile koordinat operatörlerinin aynı tipteki s-sayı fonksiyonları arasındaki bağıntılar üzerine araştırmalar yapılmıştır (Ismailov ve ark., 2014; Ismailov ve ark., 2015). Öte yandan geniş bir çalışma alanı olan Lorentz uzayları için de s-sayıları temel teşkil etmekte olup güncel olarak çalışılmaktadır (Al, 2020).

Temel Kavramlar

Bu bölümde çalışmanın daha iyi anlaşılabilmesi için ileriki kısımlarda geçen temel kavramlara yer verilmiştir.

Tanım 2.1 (Kreyszig, 1978) : X ve Y iki normlu lineer uzay olsun. $S: D(S) \subset X \rightarrow Y$ olan her dönüşüme bir operatör adı verilir. Bu durumda

$$D(S) := \{x \in X: Sx \text{ tanımlı}\} \subset X$$

kümesine S operatörünün tanım kümesi,

$$R(S) := SD(S) = \{y = Sx: x \in D(S)\} \subset Y$$

kümesine ise S operatörünün değer kümesi,

$$KerS := \{x \in X: Sx = 0\} \subset X$$

kümesine de S operatörünün sıfır kümesi veya çekirdeği denir.

Tanım 2.2 (Pietsch, 1974): X ve Y iki Banach uzay ve $S: D(S) \subset X \rightarrow Y$ bir operatör olsun. S operatörünün görüntü kümesinin boyutuna S operatörünün boyutu denir ve $rank(S)$ veya $r(S)$ ile gösterilir. Yani $r(S) = rank S = dim(Im(S))$.

Tanım 2.3 (Lineer Operatör, (Kreyszig, 1978)): X ve Y aynı bir \mathbb{F} cismi üzerinde iki lineer uzay, $D(S)$, X de bir lineer alt uzay ve $S: D(S) \subset X \rightarrow Y$ bir operatör olsun. Eğer her $x, y \in D(S)$ ve her $\alpha, \beta \in \mathbb{F}$ için

$$S(\alpha x + \beta y) = \alpha S(x) + \beta S(y)$$

ise, S operatörüne bir lineer operatör denir.

Tanım 2.4 (Birim Operatör, (Kreyszig, 1978)): $S: X \rightarrow X$ operatörü verilsin. Her $x \in X$ için $S(x) = x$ ise S operatörüne özdeşlik veya birim operatör adı verilir. I veya I_X şeklinde gösterilir. (Bu çalışmada aksi bir durum belirtilmedikçe birim operatör kısaltık adına sadece I ile gösterilecektir.)

Tanım 2.5 (Süreklili Operatör, (Kreyszig, 1978)): X ve Y iki normlu uzay, $S: X \rightarrow Y$ bir operatör ve $x_0 \in X$ olsun. Eğer her $\varepsilon > 0$ için $\|x - x_0\| < \delta$ koşulunu sağlayan her $x \in X$ için $\|Sx - Sx_0\| < \varepsilon$ olacak şekilde bir $\delta = \delta(\varepsilon, x_0) > 0$ sayısı bulunabiliyor ise S operatörüne x_0 noktasında süreklidir denir. S operatörü her $x \in X$ noktasında sürekli ise S ye X de sürekli operatör denir.

Tanım 2.6 (Sınırlı Operatör, (Kreyszig, 1978)): X ve Y iki normlu uzay ve $S: X \rightarrow Y$ bir operatör olsun. Eğer her $x \in X$ için $\|Sx\|_Y \leq M\|x\|_X$ olacak şekilde sabit bir $M > 0$ sayısı varsa S operatörüne sınırlı operatör denir. X den Y ye tüm sınırlı lineer operatörlerin oluşturduğu aile $L(X, Y)$, özel olarak $X = Y$ ise bu aile $L(X)$ ile gösterilecektir.

Tanım 2.7 (Kompakt Operatör, (Kreyszig, 1978)): X ve Y iki Banach uzayı ve $S \in L(X, Y)$ olsun. Eğer X deki her sınırlı kümenin S altında görüntüsünün kapanışı Y de kompakt ise S ye kompakt operatör denir. Ayrıca tüm kompakt operatörler kümesi $\mathfrak{S}(X, Y) = \{S \in L(X, Y): S \text{ kompakttır}\}$ şeklinde gösterilecektir.

Teorem 2.1 (Rudin, 1953) : X ve Y iki Banach uzayı ve $S \in \mathfrak{S}(X, Y)$ olsun. Bu takdirde S sınırlıdır. Yani $\mathfrak{S}(X, Y) \subset L(X, Y)$.

Önerme 2.1 (Pietsch, 1987): Her kompakt operatör bir Riesz operatörüdür.

Tanım 2.8 (Diagonal Operatör , (Lindenstrauss ve ark; 1977)): X ve Y iki Banach uzay ve $S: X \rightarrow Y$ lineer sınırlı bir dönüşüm olsun. $(x_i), i \geq 1, (y_j), j \geq 1$ sırasıyla X ve Y Banach uzaylarında birer şartsız baz olsunlar. Eğer $S(x_i) = \sum_{j=1}^{\infty} \delta_i^j \alpha_{i,j} y_j, i = 1, 2, \dots$ ise $S: X \rightarrow Y$ operatörüne diagonal operatör adı verilir.

Burada $(\alpha_{i,j})_{i,j=1}^{\infty}$ bir sayı matrisi ve δ_i^j kroniker delta olup $\delta_i^j = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$ dir.

Teorem 2.2 (Adjoint Operatör, (Rynne ve ark; 2008)): H ve K kompleks Hilbert uzayları ve $S \in L(H, K)$ olsun. Her $x \in H$ ve her $y \in K$ için

$$(Sx, y)_K = (x, S^*y)_H$$

olacak şekilde bir tek $S^* \in L(K, H)$ operatörü mevcuttur.

Bu S^* operatörüne S operatörünün adjoint operatörü adı verilir.

Tanım 2.9 (Selfadjoint Operatör, (Rynne ve ark; 2008)): H kompleks Hilbert uzayı ve $S \in L(H)$ olsun. Eğer

$$S^* = S$$

ise bu takdirde S operatörüne selfadjoint (özeşlenik) operatör denir.

Tanım 2.10 (Normal Operatör, (Rynne ve ark; 2008)): H kompleks Hilbert uzayı ve $S \in L(H)$ olsun. Eğer

$$SS^* = S^*S$$

ise bu takdirde S operatörüne normal operatör denir.

Tanım 2.11 (Pozitif Operatör, (Narici, 1972)): H bir Hilbert uzayı ve $S: D(S) \subset H \rightarrow H$ bir lineer selfadjoint operatör olsun. Eğer her $x \in D(S)$ için $(Sx, x)_H \geq 0$ ise S operatörüne pozitif operatör denir ve $S \geq 0$ sembolü ile gösterilir. Eğer S pozitif operatörü için $T^2 = S$ olacak şekilde bir T pozitif lineer operatörü varsa, T operatörüne S nin karekökü denir ve $T = \sqrt{S}$ veya $T = S^{\frac{1}{2}}$ şeklinde gösterilir.

s-Sayıları

Tanım 3.1 (Gohberg ve ark., 1971): H bir Hilbert uzayı ve A, H Hilbert uzayında bir lineer kompakt operatör olsun, yani $A \in \mathfrak{K}(H)$. $S := (A^*A)^{\frac{1}{2}} \in \mathfrak{K}(H)$ operatörünün özdeğerlerine A operatörünün s-sayıları veya bazen singüler sayıları denir.

Bir kompakt operatörünün s-sayılarını monoton azalan şekilde ve tekrarlanma derecesi dikkate alınarak aşağıdaki şekilde numaralandırılabilir. Yani

$$s_n(A) = \lambda_n(S) , \quad n = 1, 2, \dots, r(S) ,$$

$$r(S) = \dim(\text{Im}(S)) ,$$

eğer $r(S) < \infty$ ise

$$s_n(A) = 0 , \quad n = r(S) + 1, r(S) + 2, \dots$$

kabul edilecektir.

Not:

(1) Eğer $A: H \rightarrow H$, $A \in \mathfrak{K}(H)$ bir normal operatör ise,

$$s_n(A) = |\lambda_n(A)| , \quad n = 1, 2, \dots$$

(2) Her skaler c sabiti için

$$s_n(cA) = |c|s_n(A) \quad , \quad n = 1,2, \dots$$

(3)

$$s_n(A) = s_n(A^*) \quad , \quad n = 1,2, \dots$$

(4) Her $B \in L(H)$ için

$$s_n(BA) \leq \|B\|s_n(A) \quad , \quad n = 1,2, \dots$$

$$s_n(AB) \leq \|B\|s_n(A) \quad , \quad n = 1,2, \dots$$

Her ne kadar singüler sayılar bir H Hilbert uzayındaki lineer kompakt operatör için tanımlanmış ise de bir H Hilbert uzayında tanımlanan lineer sınırlı operatörler için de singüler sayılar (s-sayılar) kavramı verilebilir (bak. [20]: $s_n(A) = \lambda_n(\sqrt{A^*A})$, $n = 1,2, \dots$).

Matematikçilerin üzerinde uzun süre çalıştıkları sorulardan biri Banach uzayında s-sayılarının tanımının nasıl verileceği olmuştur. Ayrıca burada önemli bir nokta bu tanımın nasıl verilmesi gerektiğinin yanı sıra Banach uzaylarında verilecek olan tanımın Hilbert uzaylarında bilinen s-sayıları kavramı ile de örtüşmek zorunda olmasıydı. Bu tanım çok farklı şekillerde verilebilirdi. Fakat yeni verilecek tanım, genelleşme dışında Banach uzaylarındaki operatörlerin spektral teorisine de yeni faydalar ve kolaylıklar katmak zorundaydı. Bu bağlamda, varsayımlar arasından en iyi tanımın seçilmesindeki en büyük etken Mitiagin ve Pelczynski'nin 1966 yılında matematikçilerin uluslararası kongresindeki sunumu oldu (Mitiagin, 1966).

Şimdi son dönemlerdeki çalışmalarda da sıkça kullanılan Pietsch'in (Pietsch, 1980a) ve (Pietsch, 1987) kitaplarında aksiyomatik olarak tanımladığı Banach uzayındaki s-sayı tanımı verilsin.

Tanım 3.2. Bir Banach uzaydan diğer bir Banach uzayına lineer sınırlı operatörlerin L uzayından negatif olmayan sayı dizilerinin kümesine tanımlanan

$$s: L \rightarrow \{ s_n(S): s_n(S) \geq 0, n \geq 1 \},$$

dönüşümü

1. $S \in L$ için $\|S\| = s_1(S) \geq s_2(S) \geq \dots \geq 0$
2. $S, T \in L$ için $s_n(S + T) \leq s_n(S) + \|T\|$
3. $T \in L(E_0, E)$, $S \in L(E, F)$, $R \in L(F, F_0)$ için $s_n(RST) \leq \|R\|s_n(S)\|T\|$
4. Eğer $\text{rank}(S) < n$ ise $s_n(S) = 0$
5. Eğer $\text{dim}(E) \geq n$ ise $s_n(I_E) = 1$

şartlarını sağlıyorsa, bu dönüşüme “s-sayısı fonksiyonu” veya “s-fonksiyonu” denir.

Burada $s_n(S)$ sayısına S operatörünün n . s-sayısı adı verilir.

Teorem 3.2 (Pietsch, 1974) : $S, T \in L(E, F)$ için

$$|s_n(S) - s_n(T)| \leq \|S - T\|$$

olduğundan s-sayıları sürekli fonksiyonlardır.

İspat: s-sayılarının 2. özelliğinden

$$s_n(S) = s_n(S + T - T) \leq s_n(T) + \|S - T\| \Rightarrow s_n(S) - s_n(T) \leq \|S - T\| \quad (1)$$

$$s_n(T) = s_n(T + S - S) \leq s_n(S) + \|S - T\| \Rightarrow s_n(T) - s_n(S) \leq \|S - T\| \quad (2)$$

olup (1) ve (2) den $|s_n(S) - s_n(T)| \leq \|S - T\|$ dir.

Teorem 3.3 (Pietsch, 1974): Eğer $s_n(S) = 0$ ise bu takdirde $\dim(S) < n$ dir.

İspat: $T \in L(E, E_0), S \in L(E_0, F), R \in L(F, E)$ için 3. özellikten

$$s_n(RST) \leq \|R\|s_n(S)\|T\|$$

olup $s_n(RST) = 0$ dir. Ayrıca $s_n(RST) = s_n(I_E)$ olup $s_n(I_E) = 0$ olacağından (s-sayı tanımında 5. özellikte $p \Rightarrow q \Leftrightarrow q' \Rightarrow p'$ önermesi göz önüne alınırsa) $\text{rank}(I_E) < n$ dir. O halde $\dim(RST) < n$ dir.

İleride bazı önemli teoremlerin ispatı için aşağıdaki lemmalar kullanılacaktır.

Lemma 3.1 (Lindenstrauss, 1949) : M, E'' nin sonlu boyutlu bir alt uzayı olsun. Eğer $\varepsilon > 0$ ise bu takdirde J_E, E'' içine tanımlı E nin kanonikal dönüşümü olmak üzere her $x \in E \cap J_E^{-1}(M)$ için

$$\|R\| \leq 1 + \varepsilon \text{ ve } RJ_E x = x$$

olacak şekilde $R \in L(M, E)$ vardır.

Lemma 3.2 (Kato, 1966) : M ve N , $\dim(M) > \dim(N)$ olacak şekilde E nin alt uzayları olsun. E Banach uzayının bir bölüm uzayı E/N ve Q_N^E, E den E/N nin içine bir kanonikal dönüşüm olmak üzere

$$\|Q_N^E x\| = \|x\| = 1,$$

olacak şekilde $x \in M$ vardır.

Lemma 3.3 (Kadec ve ark., 1971) : $M, \dim(M) = n$ olmak üzere, E nin bir alt uzayı olsun. Bu takdirde bir $P \in L(E, E)$ projeksiyonu vardır öyle ki,

$$M = P(E) \text{ ve } \|P\| \leq \sqrt{n}.$$

Bazı s-Sayı Örnekleri

Tanım 3.1.1 (Pietsch, 1980a): Her $S \in L(E, F)$ operatörleri için yaklaşım sayıları

$$a_n(S) = \inf\{\|S - A\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) < n\},$$

olarak tanımlanır.

Teorem 3.1.1 (Pietsch, 1974):

$$\text{app} : S \rightarrow (a_n(S))$$

dönüşümü bir s-sayı fonksiyonudur.

İspat: s-sayılarının (3) ve (4). özellikleri aşikar olup diğer şartların sağlandığı gösterilsin.

(1) $S \in L(E, F)$ olsun

$$\begin{aligned}
a_1(S) &= \inf\{\|S - A\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) < 1\} = \|S\| \\
a_2(S) &= \inf\{\|S - A\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) < 2\} \\
&= \inf\{\|S\|, \inf\{\|S - A\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) = 1\}\} \\
&= \inf\{\|S - A\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) = 1\} \\
&\leq a_1(S)
\end{aligned}$$

dir. Benzer şekilde devam edilirse;

$$\|S\| = a_1(S) \geq a_2(S) \geq a_3(S) \dots \geq 0$$

olduğu görülür.

(2) $S, T \in L(E, F)$ olsun. Şu halde,

$$\begin{aligned}
a_n(S + T) &= \inf\{\|S + T - A\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) < n\} \\
&\leq \inf\{\|S - A\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) < n\} \\
&\quad + \inf\{\|T\| : A \in L(E, F), \text{rank}(A) < n\} \\
&= a_n(S) + \|T\|
\end{aligned}$$

elde edilir.

(5) $a_n(I_E) < 1$ olduğu kabul edilsin. Bu takdirde yaklaşım sayılarının tanımından $\|I_E - A\| < 1$ ve $\text{rank}(A) < n$ olacak şekilde $A \in L(E, E)$ vardır. Sonuç olarak, $A = I_E - (I_E - A)$ olduğundan Neumann serisi vasıtasıyla A terslenebilir. $\text{rank}(A) \geq n$ olduğu biliniyor. Bu ise bir çelişkidir. O halde kabul yanlış olup s-sayılarının 5. şartı sağlanır.

Teorem 3.1.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Yaklaşım sayıları en geniş s-sayılarıdır.

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde her bir s-sayısı fonksiyonu ve $\text{rank}(A) < n$ ile verilen $A \in L(E, F)$ için

$$\begin{aligned}
s_n(S) &= s_n(S + A - A) \\
&\leq s_n(A) + \|S - A\| \\
&= \|S - A\|
\end{aligned}$$

olup s-sayılarının 4. özelliğinden $s_n(A) = 0$ dır. Böylece,

$$s_n(S) \leq \|S - A\|$$

dır. Yukarıdaki eşitsizlikte her iki tarafın infimumu alınırsa sağ taraf yaklaşım sayısını verir. Dolayısıyla her $S \in L$ için

$$s_n(S) \leq a_n(S)$$

olur.

Tanım 3.1.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Her $S \in L(E, F)$ operatörü için

$$c_n(S) := \inf\{\|SJ_M^E\| : \text{codim}(M) < n\},$$

olarak tanımlanan s-sayı fonksiyonuna Gelfand sayısı adı verilir. Bu tanım

$$c_n(S) := \inf\{\|S\|_M : M \subset E, \text{codim}(M) < n\},$$

olarak da ifade edilebilir (Carl, 2009).

Teorem 3.1.3:

$$gel: S \rightarrow c_n(S)$$

bir s-sayı fonksiyonudur.

İspat:

(1) $S \in L(E, F)$ için

$$\begin{aligned} c_1(S) &= \inf\{\|S\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < 1\} = \|S\| \\ c_2(S) &= \inf\{\|S\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < 2\} \\ &= \inf\{\|S\|, \inf\{\|S\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) = 1\}\} \\ &= \inf\{\|S\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) = 1\} \end{aligned}$$

olup buradan

$$\|S\| = c_1(S) \geq c_2(S)$$

bulunur. Benzer şekilde devam edilirse

$$\|S\| = c_1(S) \geq c_2(S) \geq c_3(S) \geq \dots \geq 0$$

olduğu kolayca görülür.

(2) $S, T \in L(E, F)$ için

$$\begin{aligned} c_n(S + T) &= \inf\{\|S + T\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &\leq \inf\{\|S\|_M + \|T\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &\leq \inf\{\|S\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &\quad + \inf\{\|T\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &\leq c_n(S) + \inf\{\|T\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &= c_n(S) + \|T\| \end{aligned}$$

elde edilir.

(3) $T \in L(E_0, E)$, $S \in L(E, F)$, $R \in L(F, F_0)$ için

$$\begin{aligned} c_n(RST) &= \inf\{\|RST\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &\leq \inf\{\|R\|_M \|S\|_M \|T\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &\leq \inf\{\|R\| \|S\|_M \|T\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} \\ &= \|R\| c_n(S) \|T\| \end{aligned}$$

bulunur.

(4) $\text{rank}(S) < n$ olsun. Bu durumda,

$$c_n(S) = \inf\{\|S\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\}$$

olup

$$c_n(S) = 0$$

dır.

(5) $\text{dim}(E) \geq n$ olsun.

$$c_n(I_E) = \inf\{\|I_E\|_M: M \subset E, \text{codim}(M) < n\} = 1$$

olduğu açıktır.

Tanım 3.1.3 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a): Her $S \in L(E, F)$ operatörü için Bernstein sayıları

$$u_n(S) := \sup\{j(SJ_M^E) : \dim(M) \geq n\},$$

olarak tanımlanır.

Tanım 3.1.3' de geçen "j" injektivlik modülü olup injektiv s-sayıları kısmında tanımı ifade edilmiştir.

Uyarı: Yukarıdaki tanımda $\dim(M) = n$ olan tüm M alt uzaylarının üzerinden supremum almak yeterlidir.

Tanım 3.1.4 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Her $S \in L(E, F)$ operatörü için Kolmogorov sayıları

$$d_n(S) := \inf\{\|Q_N^F S\| : \dim(N) < n\},$$

olarak tanımlanır.

Tanım 3.1.5 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Her $S \in L(E, F)$ operatörü için Mitiagin sayıları

$$v_n(S) := \sup\{q(Q_N^F S) : \text{codim}(N) \geq n\},$$

olarak tanımlanır.

Tanım 3.1.5 de geçen "q" surjektivlik modülü olup surjektiv s-sayıları kısmında tanımı verilmiştir.

Tanım 3.1.6 (Bauhardt, 1977): Her $S \in L(E, F)$ operatörü için Hilbert sayıları $A \in L(l_2, E)$ ve $B \in L(F, l_2)$ olmak üzere

$$h_n(S) := \sup\{a_n(BSA) : \|A: l_2 \rightarrow E\| \leq 1, \|B: F \rightarrow l_2\| \leq 1\},$$

olarak tanımlanır.

Teorem 3.1.4 (Pietsch, 2007): Hilbert sayıları en küçük s-sayılarıdır.

İspat: Her $S \in L(E, F)$ için $A \in L(l_2, E)$ ve $B \in L(F, l_2)$ olmak üzere

$$a_n(BSA) = s_n(BSA) \leq \|B\|s_n(S)\|A\|$$

dir. Böylece her $S \in L$ için

$$h_n(S) \leq s_n(S)$$

olduğu görülür.

Not: Şu halde her $S \in L(E, F)$ için Teorem 3.1.2 ve Teorem 3.1.4 den

$$h_n(S) \leq s_n(S) \leq a_n(S)$$

olduğu açıktır.

Tanım 3.1.7 (Pietsch, 2007): $s = (s_n)$ bir s-sayı dizisi olsun. Bir $S \in L(E, F)$ operatörü ve l_2 klasik Hilbert dizi uzayı olmak üzere n . s-Weyl sayıları

$$s_n(S, l_2) := \sup\{s_n(SA) : \|A: l_2 \rightarrow E\| \leq 1\},$$

olarak tanımlanır. Bunlar bir s-sayı dizisi formundadır. Bu durumda $s = a = (a_n)$ yaklaşım sayıları alınacak olursa Pietsch (Pietsch, 1980a) çalışmasında ifade ettiği meşhur Weyl sayıları

$$x_n(S) = a_n(S, l_2)$$

elde edilir. Yani Weyl sayıları açık olarak ifade edilecek olursa;

$$x_n(S) = \sup\{a_n(SA) : \|A: l_2 \rightarrow E\| \leq 1\},$$

dir. Açık bir şekilde onlar en geniş s-Weyl sayılarıdır. Dahası, bir s-Weyl sayı dizisi için aşağıda verilen *mixing çarpımsallık* mevcuttur, $S \in L(E, E_0)$ ve $T \in L(E_0, F)$ için

$$s_{n+m-1}(TS, l_2) \leq s_n(T, l_2) x_n(S)$$

dir. Gerçekten;

$$\begin{aligned} s_{n+m-1}(TS, l_2) &:= \sup\{s_{n+m-1}(TSA): \|A: l_2 \rightarrow E\| \leq 1\} \\ &\leq \sup\{s_n(T) s_m(SA): \|A: l_2 \rightarrow E\| \leq 1\} \\ &= \sup\{s_n(TB): \|B: l_2 \rightarrow E_0\| \leq 1\} \\ &\quad \cdot \sup\{s_m(SA): \|A: l_2 \rightarrow E\| \leq 1\} \\ &= s_n(T, l_2) x_m(S) \end{aligned}$$

dir. Aslında, eğer $A \in L(l_2, E)$ ise bu takdirde, mixing çarpımsallıktan önceki eşitsizlik s-Weyl sayılarının tanımı kullanılarak;

$$s_{n+m-1}(TSA) = s_{n+m-1}(TSA, l_2) \leq s_n(T, l_2) a_m(SA)$$

olarak hesaplanabilir.

Sonuç olarak, $(s_n) = (h_n)$ olması halinde Hilbert sayılarının mixing çarpımsallığı $S \in L(E, E_0)$ ve $T \in L(E_0, F)$ için

$$h_{n+m-1}(TS) = h_{n+m-1}(TS, l_2) \leq h_n(T, l_2) x_m(S) = h_n(T) x_m(S)$$

olarak elde edilir. Yani,

$$h_{n+m-1}(TS) \leq h_n(T) x_m(S).$$

Tanım 3.1. 8 (Pietsch, 2007): $s = (s_n)$ bir s-sayı dizisi olsun. Bir $S \in L(E, F)$ operatörü ve l_2 klasik Hilbert dizi uzayı olmak üzere n . Chang sayıları

$$y_n(S) := \sup\{s_n(BS) : \|B: F \rightarrow l_2\| \leq 1\},$$

olarak tanımlanır.

Weyl sayıları ve Chang sayıları hakkında ayrıntılı bilgi için (Pietsch, 1980a; Pietsch, 2007) bakılabilir. Weyl ve Chang Hilbert uzaylarda çalışmalarını yürütmüş olmalarına rağmen ileriki tüm gelişmelerin yolunu açmışlardır.

Not: Chang ve Weyl sayılarının tanımlarına bakılacak olursa Hilbert sayılarının tanımının ikiye bölünmüş olduğu görülür.

İzomorfizm Sayıları

Tanım 3.2.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L(E, F)$ operatörü için izomorfizm sayıları aşağıdaki gibi tanımlanır. Eğer $rank(S) < n$ ise bu takdirde bir G Banach uzayı vardır öyle ki $X \in L(G, E)$ ve $B \in L(F, G)$ operatörleri için

$$I_G = BSX \text{ ve } dim(G) \geq n$$

dir. Bu durumda bütün ihtimaller üzerinden supremum alınırsa izomorfizm sayıları

$$i_n(S) := \sup\{\|B\|^{-1} \|X\|^{-1}\},$$

olarak tanımlanır.

Teorem 3.2.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) :

$$iso : S \rightarrow (i_n(S))$$

dönüşümü bir s-sayı fonksiyonudur.

İspat: s-sayılarının diğer özellikleri aşikar olduğundan sadece 2. özellik ispatlanacaktır. $i_n(S + T) > \|T\|$ olduğu kabul edilsin. Eğer $0 < \varepsilon < i_n(S + T) - \|T\|$ ise bu takdirde $X \in L(G, E)$ ve $B \in L(F, G)$ gibi bir Banach uzay vardır öyle ki

$$I_G = B(S + T)X, \dim(G) \geq n$$

ve

$$\|B\|^{-1}\|X\|^{-1} \geq i_n(S + T) - \varepsilon > \|T\|.$$

$\|BTX\| < 1$ olduğundan BSX operatörü

$$BSX = B(S + T)X - BTX = I_G - BTX$$

terslenebilirdir. $I_G = (I_G - BTX)^{-1}BSX$ ve $\|(I_G - BTX)^{-1}\| \leq (1 - \|BTX\|)^{-1}$ olduğundan

$$\begin{aligned} i_n(S) &\geq \|(I_G - BTX)^{-1}B\|^{-1}\|X\|^{-1} \\ &\geq (1 - \|BTX\|)\|B\|^{-1}\|X\|^{-1} \\ &\geq \|B\|^{-1}\|X\|^{-1} - \|T\| \\ &\geq i_n(S + T) - \varepsilon - \|T\| \end{aligned}$$

olduğu görülür. Sonuç olarak,

$$i_n(S + T) \leq i_n(S) + \|T\| + \varepsilon$$

bulunur.

Teorem 3.2.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : İzomorfizm sayıları en küçük s-sayılarıdır.

İspat: $I_G = BSX$ ve $\dim(G) \geq n$ olacak şekilde $S \in L(E, F), X \in L(G, E)$ olsun. Bu takdirde her bir s-sayısı fonksiyonu için s-sayılarının özellikleri kullanılırsa

$$1 = s_n(I_G) \leq \|B\|s_n(S)\|X\|$$

yazılabilir. Böylece her $S \in L$ için

$$i_n(S) \leq s_n(S)$$

dir.

İnjektif s-Sayıları

Tanım 3.3.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Bir s-sayı fonksiyonu eğer M, F nin bir alt uzayı olmak üzere her $S \in L(E, M)$ için

$$s_n(J_M^F S) = s_n(S)$$

şartını sağlıyorsa injektif s-sayısı adını alır. Burada J_M^F, M den F nin içine gömme dönüşümüdür.

Başka bir ifadeyle $s_n(S)$, s-sayı fonksiyonunun injektivliği, S nin tanım kümesinin tümleyeni üzerine bağlı değildir.

Teorem 3.3.1 (Pietsch, 1974): Gelfand sayıları bir injektive s-sayı fonksiyonudur.

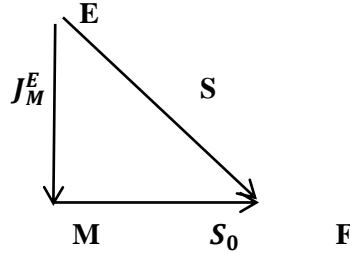
İspat: Her $S \in L(E, F)$ için

$$c_n(J_M^F S) = \inf\{\|J_M^F S J_Z^E\| : Z \subset E, \text{codim}(Z) < n\}$$

$$\begin{aligned}
&= \inf\{\|J_M^E\| \|SJ_Z^E\| : Z \subset E, \text{codim}(Z) < n\} \\
&= \|J_M^E\| \inf\{\|SJ_Z^E\| : Z \subset E, \text{codim}(Z) < n\} \\
&= \|J_M^E\| c_n(S) \\
&= c_n(S)
\end{aligned}$$

dir.

Not: Eğer bir keyfi E Banach uzayının bir M alt uzayından F nin içine tanımlı her S_0 dönüşümü için $\|S\| = \|S_0\|$ olacak şekilde E den F nin içine bir S genişlemesi varsa F Banach uzayına genişleme özelliğine sahiptir denir.



Teorem 3.3.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Eğer F genişleme özelliğine sahip ise bu takdirde her $S \in L(E, F)$ için

$$c_n(S) = a_n(S)$$

dir.

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. Kısım 3.1' deki Teorem 3.1.2' den biliniyor ki, $a_n(S)$ en geniş s -sayı fonksiyonudur. O halde

$$c_n(S) \leq a_n(S) \quad (1)$$

dir. Eğer $\varepsilon > 0$ için $\text{codim}(M) < n$ olacak şekilde E nin bir M alt uzayı seçilirse

$$\|SJ_M^E\| \leq c_n(S) + \varepsilon$$

olur. Bu takdirde SJ_M^E nin $\|T\| = \|SJ_M^E\|$ olacak şekilde bir $T \in L(E, F)$ genişlemesi vardır. $A = S - T$ olarak alınsın. Dolayısıyla her $x \in M$ için $Ax = 0$ olduğundan $\text{rank}(A) < n$ dir. Böylece,

$$a_n(S) \leq \|S - A\| = \|T\| = \|SJ_M^E\| \leq c_n(S) + \varepsilon$$

olup

$$a_n(S) \leq c_n(S) \quad (2)$$

dir. Şu halde (1) ve (2) den

$$c_n(S) = a_n(S)$$

elde edilir.

Not: Her F Banach uzayı bir F^∞ genişleme özelliğine sahip bir Banach uzayın alt uzayıdır. J_F^∞ , F den F^∞ içine gömme dönüşümü olarak tanımlanır.

Teorem 3.3.3 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde,

$$c_n(S) = a_n(J_F^\infty S) .$$

İspat: Gelfand sayılarının injektivliğinden ve Teorem 3.3.2' den

$$c_n(S) = c_n(J_F^\infty S) = a_n(J_F^\infty S)$$

olduğu görülür.

Teorem 3.3.4 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Gelfand sayıları en geniş injektif s-sayılarıdır.

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde her bir injektif s-sayı fonksiyonu için

$$s_n(S) = s_n(J_F^\infty S) \leq a_n(J_F^\infty S) = c_n(S)$$

eşitsizliği yazılabilir. $S \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde injektivliğin modülü

$$j(S) = \sup\{\varrho \geq 0 : \|SX\| \geq \varrho\|X\|\}$$

olarak tanımlanır.

Lemma 3.3.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S, T \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde

$$j(S + T) \leq j(S) + \|T\|.$$

Lemma 3.3.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $T \in L(E, F)$ ve $S \in L(F, G)$ olsun. Bu takdirde

$$j(ST) \leq \|S\|j(T) .$$

Dahası, eğer T üzerine ise

$$j(ST) \leq j(S)\|T\|.$$

Teorem 3.3.5 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) :

$$bern : S \rightarrow (u_n(S))$$

bir injektif s-sayı fonksiyonudur.

İspat: s-sayılarının diğer koşulları aşikar olduğundan sadece 3. özelliği göstermek yeterlidir. Bunun için $T \in L(E_0, E)$, $S \in L(E, F)$, $R \in L(F, F_0)$ olmak üzere

$$u_n(RST) \leq \|R\|u_n(S)\|T\|$$

olduğu gösterilsin. $0 < \varepsilon < u_n(RST)$ olsun. Şu halde E_0 in $dim(M_0) \geq n$ olacak şekilde bir M_0 alt uzayı vardır öyle ki

$$u_n(RST) - \varepsilon \leq j(RSTJ_{M_0}^{E_0})$$

dir. $M = T(M_0)$ içine bir dönüşüm ve T_0 da T nin M_0 a kısıtlaması olsun. Bu takdirde

$$RSTJ_{M_0}^{E_0} = RSJ_M^E T_0 \text{ ve } \|T_0\| \leq \|T\|$$

dir. Lemma 3.3.2'den

$$0 < u_n(RST) - \varepsilon \leq j(RSJ_M^E T_0) \leq \|RSJ_M^E T_0\|j(T_0)$$

olup

$$j(T_0) > 0$$

dir. Böylece T_0 bire bir ve $dim(M) \geq n$ olduğu elde edilir. Sonuç olarak T_0 üzerine olduğundan Lemma 3.3.2'den

$$u_n(RST) - \varepsilon \leq j(RSTJ_M^E T_0) \leq \|R\|j(SJ_M^E)\|T_0\| \leq \|R\|u_n(S)\|T\|$$

sağlanır.

Teorem 3.3.6 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Bernstein sayıları en küçük injektif s-sayılarıdır.

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. Her bir injektif s-sayı fonksiyonu için $\dim(M) \geq n$ iken $j(SJ_M^E) \leq s_n(S)$ sağlandığı gösterilsin.

Şu halde $j(SJ_M^E) > 0$ olduğu kabul edilsin. $M_0 := S(M)$ olsun. Bu takdirde M_0 'n içine bir dönüşüm olduğu göz önüne alınırsa S nin M ye kısıtlanması S_0 terslenebilir ve

$$\|S_0^{-1}\| = j(SJ_M^E)^{-1}$$

dir. Şu halde,

$$\begin{aligned} 1 &= s_n(I_M) \leq s_n(S_0) \|S_0^{-1}\| \\ &= s_n(J_{M_0}^F S_0) \|S_0^{-1}\| \\ &\leq s_n(SJ_M^E) \|S_0^{-1}\| \\ &\leq s_n(S) j(SJ_M^E)^{-1} \end{aligned}$$

olup

$$j(SJ_M^E) \leq s_n(S)$$

elde edilir. Bu ise her $S \in L$ için

$$u_n(S) \leq s_n(S)$$

olduğunu ispat eder.

Surjektif s-Sayıları

Tanım 3.4.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : E Banach uzayının bir bölüm uzayı E/N olsun. Bir s-sayı fonksiyonu her $S \in L(E/N, F)$ için eğer

$$s_n(SQ_N^E) = s_n(S)$$

şartını sağlıyorsa surjektif adını alır. Burada Q_N^E, E den E/N nin içine bir kanonikal dönüşümdür.

Başka bir ifadeyle surjektivliğin anlamı $s_n(S)$ s-sayıları S nin tanım kümesi üzerinden bağımsızdır.

Teorem 3.4.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) :

$$kol : S \rightarrow d_n(S)$$

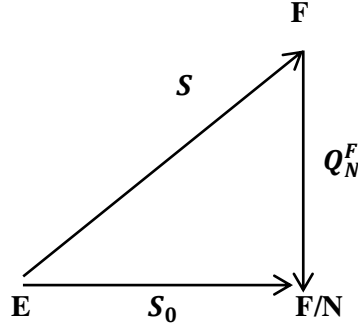
bir surjektif s-sayı fonksiyonudur.

İspat: Kolmogorov sayıları surjektif s-sayılarıdır. Gerçekten,

$$\begin{aligned} d_n(SQ_N^E) &:= \inf\{\|Q_M^F S Q_N^E\| : \dim(M) < n\} \\ &\leq \inf\{\|Q_M^F S\| \|Q_N^E\| : \dim(M) < n\} \\ &\leq \inf\{\|Q_M^F S\| : \dim(M) < n\} \\ &= d_n(S) \end{aligned}$$

elde edilir.

Not: Eğer E Banach uzayından keyfi F Banach uzayının bir F/N bölüm uzayı içine tanımlı her S_0 dönüşümü ve $\varepsilon > 0$ için E den F ye $\|S\| \leq (H\varepsilon)\|S_0\|$ olacak şekilde bir S operatörü varsa E Banach uzayına bağlantılık özelliğine sahiptir denir.



Teorem 3.4.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Eğer E bağlantılık özelliğini sağlıyorsa her $S \in L(E, F)$ için

$$d_n(S) = a_n(S).$$

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. $a_n(S)$ en geniş s-sayı fonksiyonu olduğundan

$$d_n(S) \leq a_n(S) \quad (1)$$

dir. Eğer $\varepsilon > 0$ için F nin $\dim(N) < n$ olacak şekilde bir N alt uzayı seçilirse Kolmogorov sayılarının tanımından

$$\|Q_N^F S\| \leq d_n(S) + \varepsilon$$

eşitsizliği yazılır. Bu taktirde E bağlantılık özelliğine sahip olduğundan $Q_N^F S$ in $\|T\| \leq (1 + \varepsilon) \|Q_N^F S\|$ olacak şekilde bir $T \in L(E, F)$ operatörü ile bağlantısı vardır. $A := S - T$ olarak alınsın. Dolayısı ile her $x \in E$ için $Ax \in N$ olduğundan $rank(A) < N$ dir. Böylece

$$a_n(S) \leq \|S - A\| = \|T\| \leq (1 + \varepsilon)(d_n(S) + \varepsilon)$$

olup

$$a_n(S) \leq d_n(S) \quad (2)$$

dir. Şu halde (1) ve (2)' den ispat tamamlanır.

Her E Banach uzayı bağlantılılık özelliğine sahip bir E^1 Banach uzayının bir bölüm uzayıdır. E^1 de E nin üzerine tanımlı bu kanonikal dönüşüm Q_E^1 olarak tanımlanır.

Teorem 3.4.3 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde,

$$d_n(S) = a_n(SQ_E^1).$$

İspat: Kolmogorov sayılarının surjektifliğinden ve Teorem 3.4.2'den

$$d_n(S) = d_n(SQ_E^1) = a_n(SQ_E^1)$$

olduğu görülür.

Teorem 3.4.4 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Kolmogorov sayıları en geniş surjektif s-sayılarıdır.

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde her bir surjektif s-sayı fonksiyonu için

$$s_n(S) = s_n(SQ_E^1) \leq a_n(SQ_E^1) = d_n(S).$$

$S \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde surjektivliğin modülü,

$$q(S) := \sup\{\varrho \geq 0 : S(U_F) \supset \varrho U_F\}$$

olarak tanımlıdır.

Lemma 3.4.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S, T \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde,

$$q(S + T) \leq q(S) + \|T\|.$$

İspat: $q(S + T) > \|T\|$ olduğu kabul edilsin. Eğer $0 < \varepsilon < q(S + T) - \|T\|$ ise $\varrho := q(S + T) - \varepsilon$ alınabilir. $y \in U_F$ olsun. Şu halde,

$$Sx_1 + Tx_1 = (\varrho - \|T\|)y \quad \text{ve} \quad \|x_1\| \leq \frac{\varrho - \|T\|}{\varrho}$$

$$Sx_2 + Tx_2 = Tx_1 \quad \text{ve} \quad \|x_2\| \leq \frac{\|Tx_1\|}{\varrho}$$

...

$$Sx_{n+1} + Tx_{n+1} = Tx_n \quad \text{ve} \quad \|x_{n+1}\| \leq \frac{\|Tx_n\|}{\varrho}$$

dir. Bu takdirde $n = 1, 2, \dots$ için

$$\|x_n\| \leq \left(\frac{\|T\|}{\varrho}\right)^{n-1} \frac{\varrho - \|T\|}{\varrho}$$

dir. $\|T\| < \varrho$ den

$$x := \sum_1^{\infty} x_n,$$

olarak tanımlamak mümkün ve

$$Sx = (\varrho - \|T\|)y \quad \text{ve} \quad \|x\| < 1$$

dir. Bu ise $S(U_E) \supset (\varrho - \|T\|)U_F$ olduğunu ispatlar. Sonuç olarak,

$$q(S) \geq \varrho - \|T\| = q(S + T) - \|T\| - \varepsilon.$$

Lemma 3.4.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $T \in L(E, F)$ ve $S \in L(F, G)$ olsun. Bu takdirde,

$$q(ST) \leq q(S)\|T\|$$

dir. Ayrıca eğer S bire bir ise

$$q(ST) \leq \|S\|q(T).$$

Teorem 3.4.5 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) :

$$\text{mit} : S \rightarrow v_n(S)$$

dönüşümü bir surjektif s-sayı fonksiyonudur.

İspat: Yalnızca $S, T \in L(E, F)$ için $v_n(S + T) \leq v_n(S) + \|T\|$ olduğunu gösterilsin. $\varepsilon > 0$ olsun. F nin $\text{codim}(N) \geq n$ olacak şekilde bir N alt uzayı vardır öyle ki

$$q(Q_N^F(S + T)) \geq v_n(S + T) - \varepsilon$$

dir. Lemma 3.4.1 kullanılırsa

$$\begin{aligned} v_n(S + T) &\leq q(Q_N^F(S + T)) + \varepsilon \\ &\leq q(Q_N^F S) + \|Q_N^F T\| + \varepsilon \\ &\leq v_n(S) + \|T\| + \varepsilon \end{aligned}$$

elde edilir.

Teorem 3.4.6 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Mitiagin sayıları en küçük surjektif s-sayılarıdır.

İnjektiv ve Surjektif s-Sayıları

$s = (s_n)$ bir injektiv ve surjektif s-sayı dizisi olsun. Yukarıdaki sonuçlardan, aşağıdaki mixing çarpımsallığın sağlandığı açıkça görülür. $T \in L(E_0, E), S \in L(E, F)$ ve $R \in L(F, F_0)$ için

$$s_{n+m+l-2}(RST) \leq c_n(R)s_m(S)d_l(T).$$

Gerçekten;

$$\begin{aligned} s_{n+m+l-2}(RST) &= s_{n+m+l-1-1}(RST) \\ &\leq s_{n+m-1}(RS) s_{1-1+l-1}(IT) \\ &\leq c_n(R) \cdot s_m(S) s_0(I) d_l(T) \\ &= c_n(R)s_m(S)d_l(T). \end{aligned}$$

Tanım 3.5.1 (Carl, 2009): Bir $S \in L(X, Y)$ operatörünün simetrik yaklaşım sayıları

$$t_n(S) := a_n(J_\infty S Q_1), \quad n \in \mathbb{N}$$

olarak tanımlanır.

Teorem 3.5.1 (Pietsch, 1980a): Simetrik yaklaşım sayıları en geniş surjektif ve injektiv s-sayı dizisidir.

Not: Aslında, $x_n(S)$ injektif, $y_n(S)$ ise surjektiftir (Pietsch, 2007).

Dual s-Sayıları

Tanım 3.6.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : Her s-sayı fonksiyonun $S \in L$ için dual s-sayı fonksiyonu s^D

$$s_n^D(S) := s_n(S')$$

şeklinde tanımlanır.

Teorem 3.6.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L$ olsun bu takdirde

$$a_n(S) \geq a_n(S').$$

Uyarı: C.V. Hutton yerel(lokal) refleksiflik ilkesini kullanarak her S kompakt operatörü için

$$a_n(S) = a_n(S')$$

ispatlamıştır. Diğer yandan C.V. Hutton tarafından $I: l_1 \rightarrow c_0$ özdeşlik dönüşümünün ve dualinin yaklaşım sayıları $n = 2, 3, \dots$ için tam olarak

$$a_n(I) = 1 \text{ ve } a_n(I') = \frac{1}{2}$$

hesaplanmıştır.

Teorem 3.6.2 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L$ olsun bu takdirde

$$c_n(S) = d_n(S').$$

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. Duallikten $\text{codim}(M) < n$ olan E nin alt uzayı M ve $\text{dim}(N) < n$ olan E' dualinin alt uzayı N arasında

$$M \rightarrow N: = \{a \in E' : \langle x, a \rangle = 0 \forall x \in M\},$$

$$N \rightarrow M: = \{x \in E : \langle x, a \rangle = 0 \forall a \in N\},$$

bire bir eşleşme vardır. Dolayısıyla

$$\|SJ_M^E\| = \|Q_N^{E'} S'\|$$

olup aşikar olarak Gelfand ve Kolmogorov sayılarının tanımından iddianın doğruluğu ispatlanır.

Teorem 3.6.3 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L$ ve S kompakt olsun. Bu takdirde

$$d_n(S) = c_n(S').$$

Lemma 3.6.1 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L$. Bu takdirde

$$j(S) = q(S') \text{ ve } q(S) = j(S').$$

Teorem 3.6.4 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L$ olsun. Bu takdirde

$$v_n(S) = u_n(S').$$

Uyarı: Burada her $S \in L$ için

$$u_n(S) = v_n(S')$$

sağlanıp sağlanmadığı bilinmiyor. Sonuç olarak aşağıdaki teorem aşikar olarak ifade edilebilir.

Teorem 3.6.5 (Pietsch, 1974; Pietsch, 1980a) : $S \in L$ olsun

$$i_n(S) \leq i_n(S').$$

Teorem 3.6.6 (Pietsch, 2007) : Weyl sayıları ve Chang sayıları birbirinin dual çiftidir. Yani her $S \in L$ operatörü için

$$x_n(S') = y_n(S)$$

ve

$$y_n(S') = x_n(S)$$

dir.

Not: Bauhardt, (Bauhardt, 1977) de $h_n(S') = h_n(S)$ olduğunu gösterdi.

Bazı s-Sayıları Arasındaki Bağlılıklar

Yukarıda açıklanan kısımlardan faydalanılarak aşağıda ifade edeceğimiz teoremler elde edilir.

Teorem 3.7.1 (Pietsch, 1974): $S \in L$ olsun. Bu takdirde

$$a_n(S) \geq c_n(S) \geq u_n(S) \geq i_n(S)$$

ve

$$a_n(S) \geq d_n(S) \geq v_n(S) \geq i_n(S).$$

Teorem 3.7.2 (Pietsch, 1974) : $S \in L$ olsun. Bu takdirde

$$d_n(S) \geq u_n(S).$$

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun.

$$d_n(S) := \inf\{\|Q_N^F S\| : \dim(N) < n\}$$

ve

$$u_n(S) := \sup\{j(SJ_M^E) : \dim(M) \geq n\}$$

olduğu için

$$\|Q_N^F S\| \geq j(SJ_M^E)$$

eşitsizliğini görmek yeterlidir. $j(SJ_M^E) > 0$ olduğu kabul edilsin. Eğer $M_0 := S(M)$ ise bu takdirde $\dim(M_0) \geq n$. Sonuç olarak Lemma 3.2' den

$$\|Q_N^F S\| = \|Sx\| = 1$$

olacak şekilde bir $x \in M$ vardır. Şu halde,

$$1 = \|Sx\| \geq j(SJ_M^E)\|x\|$$

ve

$$1 = \|Q_N^F Sx\| \leq \|Q_N^F S\|\|x\|$$

eşitsizliklerinden ispat tamamlanır.

Teorem 3.7.3 (Pietsch, 1974) : $S \in L$ olsun. Bu takdirde

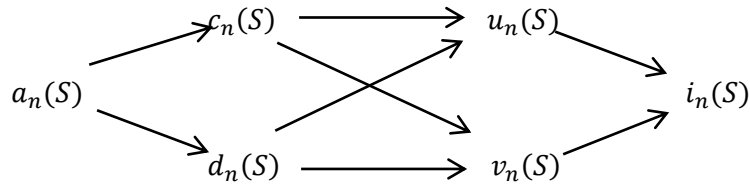
$$c_n(S) \geq v_n(S).$$

İspat: Teorem 3.7.2, Teorem 3.6.2 ve Teorem 3.6.4' den

$$c_n(S) = d_n(S') \geq u_n(S') = v_n(S)$$

olduğu kolayca görülür.

Sonuç olarak şuana kadarki tanımlanmış olan s-sayı fonksiyonları için aşağıdaki diyagram verilebilir.



Teorem 3.7.4 (Pietsch, 1974) : $S \in L$ olsun. Bu takdirde ϱ pozitif bir sabit olmak üzere

$$a_n(S) \leq \varrho^{n^{1/2}} d_n(S)$$

ve

$$a_n(S) \leq \varrho^{n^{1/2}} c_n(S).$$

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. $\varepsilon > 0$ için

$$\|Q_N^F\| \geq d_n(S) + \varepsilon \text{ ve } \dim(N) < n$$

olacak şekilde F nin bir N alt uzayı seçilebilir. Bu takdirde Lemma 3.3'den $P \in L(F, F)$, $N = P(F)$

olan bir projeksiyon vardır ve $\|P\| \leq (n - 1)^{1/2}$ dir. Ayrıca

$$J(y + N) := y - P_y$$

den bir $J \in L\left(\frac{F}{N}, F\right)$ operatörü tanımlanabilir. Bu takdirde

$$\|J\| \leq \|I_F - P\| \leq 1 + (n-1)^{1/2} \leq \varrho^{n^{1/2}},$$

burada $\varrho = \sqrt{2}$ dir. Öte yandan

$$S - PS = (I_F - P)S = JQ_N^F S$$

den

$$a_n(S) \leq \|S - PS\| \leq \|J\| \|Q_N^F\| \leq \varrho^{n^{1/2}} (d_n(S) + \varepsilon)$$

elde edilir.

Teorem 3.7.5 (Pietsch, 1974) : $S \in L$ olsun. Bu takdirde

$$u_n(S) \leq n^{1/2} i_n(S) \text{ ve } v_n(S) \leq n^{1/2} i_n(S).$$

İspat: $S \in L(E, F)$ olsun. Eğer $0 < \varepsilon < u_n(S)$ ise

$$u_n(S) - \varepsilon < j(SJ_M^E) \text{ ve } \dim(M) = n$$

olacak şekilde E nin bir M alt uzayını seçilsin. $N := S(M)$ olsun. $j(SJ_M^E) > 0$ olduğundan S nin S_0 kısıtlaması M den N ye üzerine dönüşümü göz önüne alınacak olursa terslenebilir ve

$$j(SJ_M^E) = \|S_0^{-1}\|^{-1}$$

dir. $PJ_N^F = I_N$ ve $\|P\| \leq n^{1/2}$ olacak şekilde $P \in L(E, F)$ olsun. Bu takdirde

$$I_M = S_0^{-1} P S J_M^E$$

dir. Sonuç olarak

$$i_n(S) \geq \|S_0^{-1} P\|^{-1} \|J_M^E\|^{-1} \geq n^{-1/2} \|S_0^{-1}\|^{-1} = n^{-1/2} (u_n(S) - \varepsilon)$$

elde edilir.

Teorem 3.7.6 (Pietsch, 1974) : $S \in L$ olsun. Bu takdirde

$$c_n(S) \leq n^2 v_n(S)$$

ve

$$d_n(S) \leq n^2 v_n(S)$$

dir.

Teorem 3.7.7 (Pietsch, 1974) : $S \in L$ ve ϱ pozitif bir sabit olsun. Bu takdirde

$$a_n(S) \leq \varrho n^3 i_n(S)$$

dir.

Son olarak Banach uzaylardaki diagonal operatörler için aşağıdaki eşitsizlikler ifade edilebilir

$$h_n(S) \leq x_n(S) \leq c_n(S) \leq a_n(S)$$

ve

$$h_n(S) \leq y_n(S) \leq d_n(S) \leq a_n(S)$$

(Pietsch, 1974; Pietsch, 1980b; Pietsch, 2007). Öte yandan, çok daha ilginç olan ters yöndeki hesaplamalar için, bkz. (Pietsch, 1974; Pietsch, 2007).

$$a_n(T) \leq 2\sqrt{n}c_n(T)$$

$$a_n(T) \leq 2\sqrt{n}d_n(T)$$

$$c_{2n-1}(T) \leq 2e\sqrt{n} \left(\prod_{k=1}^n x_k(T) \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$d_{2n-1}(T) \leq 2e\sqrt{n} \left(\prod_{k=1}^n y_k(T) \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$x_{2n-1}(T) \leq \sqrt{n} \left(\prod_{k=1}^n h_k(T) \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$y_{2n-1}(T) \leq \sqrt{n} \left(\prod_{k=1}^n h_k(T) \right)^{\frac{1}{n}}$$

burada \sqrt{n} faktörü daima gereklidir.

Sonuç

Bu çalışmada s-sayılarının literatürdeki yeri ve önemi araştırıldı. Banach uzaylarda s-sayılarının literatürdeki gelişimi verilerek, s-sayılarının aksiyomatik yapısı Türkçeye kazandırıldı. Ayrıca literatürde mevcut ve ispatsız olarak ifade edilen bazı teoremlerin ispatı açık olarak ifade edildi. Uygulamalı matematikte önemli bir yere sahip olan s-sayı örnekleri ve birbirleri arasındaki bağlantılar literatürdeki gelişime göre sıralandı.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Al PI. Lorentz-Schatten classes of direct sum of operators. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics 2020; 49: 835-842.

- Bandtlow OF., Güven A. Explicit upper bounds for the spectral distance of two trace class operators. *Linear Algebra and its Applications* 2015; 466: 329-342.
- Barramov E., Öztürk Mert R., Ismailov ZI. Selfadjoint extensions of a singular differential operators. *Journal of Mathematical Chemistry* 2012; 50: 1100-1110.
- Bauhardt W. Hilbert zahlen von operatoren in banachraumen. *Math. Nachr* 1977; 79: 181-187.
- Carl B., Kühn T. Local entropy moduli and eigenvalues of operators in Banach spaces. *Rev. Math. Iberoamerikana* 1985; 1: 127-148.
- Carl B. On a Weyl inequality of operators on Banach Spaces. *Proc. Amer. Math. Soc.* 2009; 137: 155-159.
- Carl B. On s-numbers, quasi s-numbers, s-moduli and Weyl inequelities of operators in Banach spaces. *Revista Math. Comp* 2010; 23: 467-487.
- Carl B., Hinrichs A. Optimal Weyl-type inequalities for operators in Banach spaces. *Positivity.* 2007; 11: 41-55.
- Carl B., Hinrichs A. On s-numbers and Weyl inequalities of operators in Banach Spaces. *Bull. Lon. Math Soc.* 2009; 41: 332-340.
- Gelfand IM. Astrakte funktionen und lineare operatoren. *Mat. Sb.* 1938; 4: 235-286.
- Güven A., Lewicki G. Diagonal operators s-numbers and Bernstein pairs. *Note di Mathematica* 1997; 17: 209-216.
- Gohberg IZ., Krein MG. Introduction to the theory of linear non-selfadjoint operators in Hilbert Space, Paris, 1971.
- Hincichs A. Optimal Weyl inequalities in Banach spaces, *Math. Soc. Proc. Amer.* 2005; 134: 731-735.
- Ismailov IZ., Cona L., Cevik EO., Guler BO. Weyl numbers of diagonal matrices. *AIP Conference Proceedings.* 2014; 1611: 296-299.
- Ismailov IZ., Cona L., Cevik EO. Gelfand numbers of diagonal matrices. *Hacettepe Journal* 2015; 44(1): 75-81.
- Kadec MI., Snobar MG. Some functionals on Minkowski's compactums. *Mat. Zametki* 1971; 10: 453-458.
- Kato T. *Perturbation theory of linear operators*, Berlin-Heidelberg-New York, 1966.
- Kreyszig E. *Introductory functional analysis with applications.* John and Sons, 1978.
- Kochubei AN. Symmetric operators and nonclassical spektral problems. *Mat. Zametki* 1979; 25: 425-434.
- Kolmogorov AN. Über die beste annahering von funktionen einer gegebenen funktionenklasse. *Ann. Math.* 1936; 37: 107-110.
- Konig H. Interpolation of operator ideals with an application to eigenvalue distribution problems. *Math. Ann.* 1978; 233: 35-48.
- König H. s-Numbers, eigenvalues and the trace theorem in Banach spaces. *Studia Math.* 1980; 67: 157-172.

- König H. Eigenvalues of operators and application. Handbook of Geometry of Banach Spaces. North-Holland, Amsterdam 2001; 1: 941-974.
- König H. Eigenvalues of operators and applications, Mathematisches Seminar Universität Kiel, Germany 2008; 1-40.
- Lindenstrauss J., Rosenthal HP. The L_p -spaces. Israel J. Math. 1949; 7: 325-349.
- Lindenstrauss J., Tzafriri L. Classical Banach spaces I. Springer-Verlag, 1977.
- Mitiagin BS., Pelczynski A. Nuclear operators and approximative dimension. Proc. ICM, Moscow. 1966; 366-372.
- Narici L., Bachman G. Functional analysis. Academic Press. Inc. London, 1972.
- Pietsch A. Einige neue klassen von kompakten linearen abbildungen. Rev. Roumaine Math. Pures and Appl. 1963; 8: 427-447.
- Pietsch A. s-Numbers of operators in Banach spaces. Studia Math. 1974; 51: 123-132.
- Pietsch A. Operator ideals. North-Holland Publishing Company 1980a.
- Pietsch A. Weyl numbers and eigenvalues of operators in Banach spaces. Math. Ann. 1980b; 247: 149-168.
- Pietsch A. Eigenvalues and s-numbers. Cambridge University Press., 1987.
- Pietsch A. History of Banach spaces and linear operators. Birkhauser Boston, 2007.
- Rudin W. Principles of mathematical analysis, McGraw-Hill, Inc., 1953.
- Rynne BP., Youngson MA. Linear functional analysis. Springer, 2008.
- Schmidt E. Zur theorie der linearen und nichtlinearen integralgleichungen. Math. Ann. 1907; 63: 433-476.
- Von Neumann J., Schatten R. The cross-space of linear transformations. Ann. of Math. 1948; 49: 557-582.
- Weyl H. Inequalities between two kinds of eigenvalues of a linear transformation, Proc. Nat. Sci. U.S.A. 1949; 35: 408-411.