



Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi  
Fen Bilimleri Dergisi



Cilt/Volume: 38

Sayı/Number: 1

Yıl/Year: 2017

ISSN: 1300-1949

SİVAS



**CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / CUMHURİYET UNIVERSITY SCIENCE JOURNAL**

*ISSN : 1300-1949*

**Baş Editör / Editor-in-chief**

Prof.Dr. Rauf AMİROV

**Editörler**

Prof.Dr. Şifa TÜRKOĞLU

Assoc.Prof.Dr. Nilüfer TOPSAKAL

Assoc.Prof.Dr. Serkan AKKOYUN

Assist.Prof.Dr. Nüket KARTAL TEMEL

**Akademik Dizin Bilgisi / Abstracting and Indexing**

Akademik Dizin

Arastirmax Bilimsel Yayın İndeksi

Bielefeld Academic Search Engine (BASE)

Directory of Open Access Journals (DOAJ)

Directory of Research Journal Indexing (DRJI)

Google Scholar

Pubget

ScienceIndex.com

WorldCat



**CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / CUMHURİYET UNIVERSITY SCIENCE JOURNAL**

**İletişim Bilgileri / Contact Information**

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Dekanlığı 58140 Sivas-TURKEY

Tel: +90(346) 2191010 - 1522

Fax: +90(346) 2191186

cumhuriyetcendergi@gmail.com

<http://dergi.cumhuriyet.edu.tr/ojs/index.php/fenbilimleri/index>

**Secretariat-Communication**

Research Assistant Hacı Ahmet KARADAŞ

karadas44@gmail.com

**BİLİMSEL DANIŞMA KURULU / SCIENTIFIC ADVISORY BOARD**

Prof. Dr. Rauf AMİROV (Cumhuriyet University)

Prof. Dr. Hüseyin SARI (Cumhuriyet University)

Prof. Dr. Mehmet Ali AKPINAR (Cumhuriyet University)

Prof. Dr. Ulvi ULUSOY (Cumhuriyet University)

Prof. Dr. Hüseyin BEREKETOĞLU (Ankara University)

Prof.Dr. Şifa TÜRKOĞLU (Cumhuriyet University)

Assoc.Prof.Dr. Nilüfer TOPSAKAL (Cumhuriyet University)

Assoc.Prof.Dr. Fatih UNGAN (Cumhuriyet University)

Assoc.Prof.Dr. Tuncay BAYRAM (Sinop University)

Assoc.Prof.Dr. Gökhan KOÇAK (Erciyes University)

Assoc.Prof.Dr. Serkan AKKOYUN (Cumhuriyet University)

Assist.Prof.Dr. Nüket KARTAL TEMEL (Cumhuriyet University)

Assist.Prof.Dr. Seyit Okan KARA (Niğde University)

Assist.Prof.Dr. Mesut KARAKOÇ (Akdeniz University)

**Yayın Türü / Publication Type:** Hakemli Süreli Yayın / Peer Reviewed Journal

**Atıf Şekli / Cite Type :** Cum. Fen. Derg.

# İÇİNDEKİLER / CONTENTS

*Cilt / Volume: 38 Sayı / Number: 1 Yıl / Year: 2017*

## Makale Adı ve Yazarlar

## Sayfa No

Theoretical studies on oxovanadium(IV) complexes with sterically crowded Schiff base ligands	1 - 12
Nükleer Yakıt Zenginleştirme İşleminde Kullanılan Gaz Santrifüj Yönteminin İncelenmesi	13 - 20
Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri: Fiziksel Metotlar	21 - 39
Swiss Albino Farelerde Fenpiroksimat (Akarisit)'in Teşvik Ettiği Biyokimyasal Değişime Karşı Fındığın Koruyucu Rolü	40 - 48
Comparative Analysis of Numerical Solutions of Advection-Diffusion Equation	49 - 63
Evaluating the Production of Doubled Haploid Wheat Lines Using Various Methods of Wheat and Maize Crossing to Develop Heat-Tolerant Wheat Varieties	64 - 78
Hadoop ve Mapreduce Teknolojisi aracılığıyla Gıda-tabanlı Mobil Uygulamaları için bir Arama Hizmeti	79 - 94
An intelligent Approach to Combinational Load Shedding with Tracing Reactive Power based on Genetic Algorithm	95 - 108
Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi	109 - 118
PSO, CS ve FA Algoritmalarıyla Ortak Emiterli BJT'li Yükselteç Tasarımı	119 - 130
Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Sivas Kenti ve Yakın Çevresi İçin Yerleşim Açısından En Uygun Alanların Belirlenmesi	131 - 145
Design and Implementation of 1-bit Comparator in Quantum-dot Cellular Automata (QCA)	146 - 152





## Theoretical Studies on Oxovanadium(IV) Complexes with Sterically Crowded Schiff Base Ligands

Duran KARAKAŞ\*, Koray SAYIN

*Chemistry Department, Science Faculty, Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Turkey*

Received: 20.04.2016; Accepted: 03.01.2017

**Abstract.** Electronic structures of five oxovanadium(IV) complexes with sterically crowded Schiff base ligands are optimized by using density functional theory (DFT/B3LYP) method with LANL2DZ basis set. The studied complexes are [N,N'-ethylenebis(o-(tert-butyl-p-methylsalicylaldiminato))] oxovanadium (IV) (1), [N,N'-propanediylbis(o-(tert-butyl-p-methylsalicylaldiminato))] oxovanadium (IV) (2), bis(N-methylsalicylaldiminato) oxovanadium (IV) (3), bis(N-isopropyl-o-methylsalicylaldiminato) oxovanadium (IV) (4) and bis(N-methyl-o-(tert-butyl-p-methylsalicylaldiminato) oxovanadium (IV) (5). The structural parameters and stretching frequencies were obtained for five oxovanadium(IV) complexes. The calculated structural parameters show that the vanadium(IV) center is distorted square pyramidal (dsp) for complexes (1), (2) and distorted trigonal bipyramidal (dtbp) for complexes (3), (4) and (5). The excitation energies of complexes were obtained by using time-dependent density functional theory (TD-DFT/B3LYP) method with LANL2DZ basis set in dichloromethane solvent. The calculated excitation energies are in a good agreement with experimental datum for oxovanadium(IV) complexes. Frontier orbital energies ( $E_{LUMO}$  and  $E_{HOMO}$ ), global hardness ( $\eta$ ), softness ( $\sigma$ ) and LUMO-HOMO energy gap ( $\Delta E$ ) were calculated to predict the antidiabetic effects of complexes. According to these quantum chemical parameters, antidiabetic effect ranking of the complexes were predicted as (1) > (2) > (5) > (3) > (4).

**Keywords:** Density functional calculations, oxovanadium(IV) complexes, Schiff base ligands, Quantum chemical parameters

## Sterik Olarak Kalabalık Olan Schiff Baz Ligandlı Oxovanadyum(IV) Kompleksleri Üzerine Teorik Çalışmalar

**Özet.** Sterik olarak kalabalık olan Schiff baz ligandlı 5 oxovanadyum(IV) kompleksinin elektronik yapısı LANL2DZ temel setli yoğunluk fonksiyonel teori (DFT/B3LYP) kullanılarak optimize edildi. Çalışılan kompleksler [N,N'-etilenbis(o-(ter-butyl-p-metilsalisilaldiminato))] oxovanadyum(IV) (1), [N,N'-propanediylbis(o-(ter-butyl-p-metilsalisilaldiminato))] oxovanadyum(IV) (2), bis(N- metilsalisilaldiminato) oxovanadyum(IV) (3), bis(N-isopropil-o- metilsalisilaldiminato) oxovanadyum(IV) (4) ve bis(N-metil-o-(ter-butyl-p- metilsalisilaldiminato) oxovanadyum(IV) (5) dir. 5 oxovanadyum(IV) kompleksleri için yapısal parametreler ve gerilme frekansları elde edildi. Hesaplanmış yapısal parametreler vanadyum(IV) merkezinin kompleks (1) ve (2) de bozulmuş kare düzlem ve kompleks (3), (4) ve (5) te bozulmuş üçgen bipiramidal olduğunu gösterdi. Komplekslerin uyarılma enerjileri diklorometan çözücüsünde LANL2DZ temel setli zaman-bağımlı yoğunluk fonksiyonel teori kullanılarak elde edildi. Hesaplanan uyarılma enerjileri deneysel veriler ile iyi bir uyum içindedir. Öncü orbital enerjileri ( $E_{LUMO}$  ve  $E_{HOMO}$ ), sertlik ( $\eta$ ), yumuşaklık ( $\sigma$ ) ve LUMO-HOMO enerji boşluğu ( $\Delta E$ ) komplekslerin antidiyabetik etkisinin öngörülmesi için hesaplandı. Bu kuantum kimyasal parametrelere göre komplekslerin antidiyabetik etki sıralaması (1) > (2) > (5) > (3) > (4) olarak öngörüldü.

**Anahtar kelimeler:** Yoğunluk Fonksiyon Hesaplamaları, Oxovanadyum(IV) kompleksleri, Schiff baz ligandları, Kuantum kimyasal parametreler

### 1. INTRODUCTION

Several metal ions and their complexes exhibit antidiabetic effects. Elemental vanadium plays an important role in many environmental and biological processes [1]. Coordination chemistry of vanadium has become of great interest due to the presence of vanadium in enzymatic systems[2, 3]. Elemental vanadium and oxovanadium(IV) complexes have interesting pharmacological properties which make

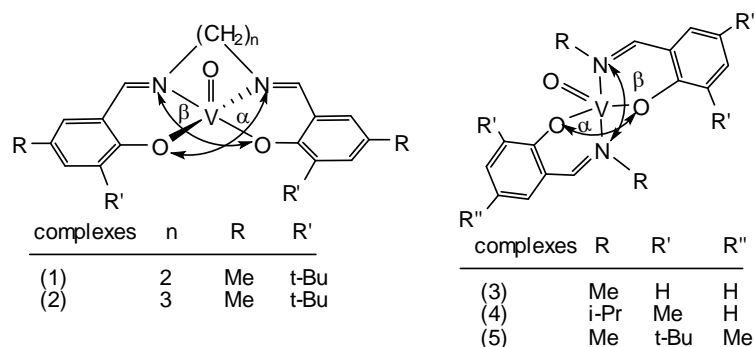
\* Corresponding author. *Email address:* dkarakas@cumhuriyet.edu.tr

## Sterik Olarak Kalabalık Olan Schiff

them promising agents in the treatment of diabetes mellitus [4]. Efficiency of the vanadium complexes with organic ligand as drug is more than its inorganic salts [5]. Some pharmacological properties of oxovanadium(IV) complexes are high-hypoglycemic efficacy and non-toxic nature. These properties of oxovanadium(IV) complexes make promising as insulin enhancing agents [6-8].

Sakurai et al. suggested that bis(picolinato)oxovanadium(IV), [VO(pic)<sub>2</sub>], has a strong insulin-mimetic effect in an in vitro system. This complex was effective in normalizing the blood glucose of STZ-rats when given by daily i.p. injections or oral administration [9]. Bis(3-methylpicolinato)oxovanadium(IV), [VO(3mpa)<sub>2</sub>], and bis(6-methylpicolinato) oxovanadium(IV), [VO(6mpa)<sub>2</sub>], were synthesized by Sakurai et al. and insulin-mimetic activities of these complexes was obtained in the order VO(6mpa)<sub>2</sub>>VO(pic)<sub>2</sub>>VO(3mpa)<sub>2</sub> [10-12].

The stereochemistry of vanadium complexes have been studied by Carrano et al. depending on the metal environment. According to Carrano proposal, provided that no significant steric constraints, five-coordinate vanadium(V) complexes have square pyramidal geometries [13-17] and six-coordinate vanadium(V) complexes constitute octahedral geometries [18-21]. Five-coordinate oxovanadium(IV) complexes containing sterically crowded Schiff base ligands were synthesized by Cornman et al. in 1997. Electronic structures, V=O stretching frequencies and electronic spectra were determined for mentioned complexes [22]. Schematic structure of mentioned complexes are given in Fig.1.



**Fig. 1.** The schematic structures of oxovanadium(IV) complexes and the defining of  $\alpha$  and  $\beta$  angles

Antidiabetic effects of many oxovanadium(IV) complex have been previously studied [23-28]. The purpose of this theoretical study is to determine the optimized complex structures, to calculate the vibrational and electronic spectra and to discuss the antidiabetic effects of complexes by using the quantum chemical parameters such as the highest occupied molecular orbital energy ( $E_{HOMO}$ ), the lowest unoccupied molecular orbital energy ( $E_{LUMO}$ ), the energy gap ( $\Delta E_{LUMO-HOMO}$ ), hardness ( $\eta$ ) and softness ( $\sigma$ ).

## 2. CALCULATION METHOD

The input files of the oxovanadium(IV) complexes were prepared with GaussView 5.0.8 [29]. All calculations were made by using Gaussian 09 Revision-A.02 [30]. All complexes were fully optimized by using DFT/B3LYP method with LANL2DZ [31] basis sets in gas phase. B3LYP combination of exchange and correlation functional [32, 33] in DFT is applied to all the electronic structure calculations. LANL2DZ basis set is used for post-third-row atoms. It uses effective core potentials (ECP) in calculations [34]. The vibrational frequency analyses indicate that optimized structures of all complexes are at stationary points corresponding to local minima without imaginary frequencies. Single point

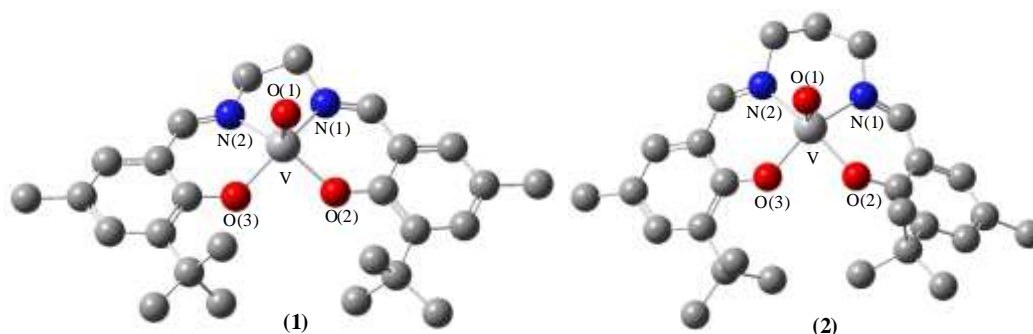
energy calculations were performed to calculate quantum chemical parameters at B3LYP/cc-pVTZ level.

In the second step, electronic excitation energies were calculated for the optimized complexes by using TD-DFT/B3LYP method with LANL2DZ basis set in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> solvent. The interactions of solute-solvent were taken into account by the conductor-like polarizable continuum model (CPCM). According to this model, the solute molecule is placed into a cavity surrounded by the solvent considered as a continuum medium of a certain dielectric constant. The charge distribution of the solute polarizes the dielectric continuum, which creates an electrostatic field that in turn polarizes the solute [35]. The TD-DFT approach had been demonstrated to be reliable for calculating spectra properties of many transition metal complexes [36-38].

### 3. RESULT and DISCUSSION

#### 3.1 Molecular Structures

Fig. 2. Shows the optimized molecular structures and atomic numbering scheme for complex (1) and (2).



**Fig. 2.** Optimized molecular structures and atomic numbering scheme for complex (1) and (2). Hydrogen atoms were omitted for clarity.

Fig. 2 represents the vanadium(IV) ion with N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coordination environment for complex (1) and (2). In these structures the donor atoms (two nitrogen and two oxygen) of two bidentate Schiff base ligands coordinate with vanadium(IV) on equatorial plane and the last oxygen atom, which is oxo ligand, coordinates with vanadium(IV) on axial position. Nitrogen atoms on the equatorial plane are almost trans to oxygen atoms. The selected optimized geometric parameters were listed in Table 1.

**Table 1.** The calculated and experimental parameters for complex (1) and (2).

	Complex (1)		Complex (2)	
	Calc.	Exp <sup>a</sup> .	Calc.	Exp <sup>a</sup> .
Bond Length (Å)				
V - N(1)	2.0608	2.0589	2.0782	2.095
V - N(2)	2.0648	2.0710	2.0996	2.100
V - O(1)	1.6048	1.5913	1.6038	1.581
V - O(2)	1.9247	1.9226	1.9592	1.937
V - O(3)	1.9393	1.9351	1.9287	1.954
Bond Angle (°)				
N(1) - V - O(1)	101.02	103.01	106.83	106.45

## Sterik Olarak Kalabalık Olan Schiff

N(1) - V - O(2)	85.35	86.06	85.23	85.45
N(1) - V - O(3)	152.05	150.65	133.51	140.49
N(1) - V - N(2)	78.91	77.72	88.88	89.21
N(2) - V - O(1)	107.56	111.08	95.14	97.97
N(2) - V - O(2)	138.71	135.21	161.12	158.26
N(2) - V - O(3)	85.68	86.18	84.49	86.90
O(1) - V - O(2)	112.84	113.18	103.73	103.65
O(1) - V - O(3)	105.83	105.65	119.56	113.06
O(2) - V - O(3)	91.24	88.44	86.61	84.03

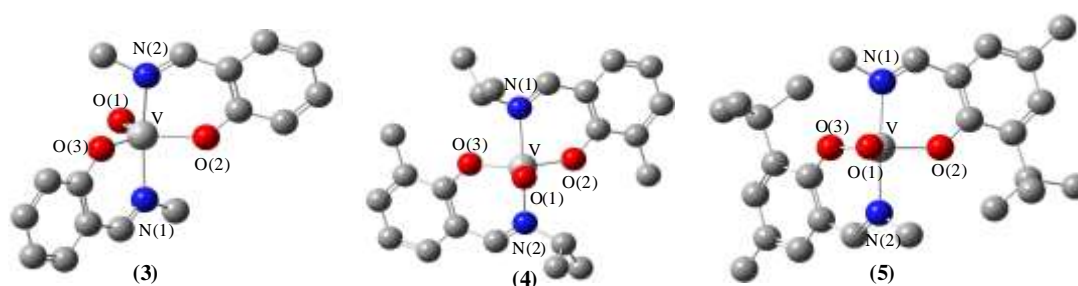
<sup>a</sup>Experimental values are taken from Ref. 22

As can be seen from Table 1, the calculated bond lengths and bond angles are in a good agreement with experimental values. Approximately V-O(1) bond distances are 1.60 Å in both complexes. V-O(2) and V-O(3) bond lengths are about 1.93 Å for each two complexes. The average of V-N(1), V-N(2) bond distances is 2.07 Å in both complexes. The biggest difference between experimental and theoretical bond lengths for complex (1) arises at V-O(1) (0.0135 Å) and for complex (2) at V-O(3) (0.0253 Å). The biggest difference between experimental and theoretical bond angle for complex (1) appears at N(2)-V-O(1) (3.52°) and for complex (2) at N(1)-V-O(3) (6.98°). Molecular geometries of complexes are predicted by calculating  $\tau$  values from Eq. 1 [22].

$$\tau = \frac{\beta - \alpha}{60} \quad (1)$$

where  $\alpha$  and  $\beta$  are bond angles defined in Fig 1.  $\tau$  value must be equal to 1 for ideal trigonal bipyramidal and must be equal to 0 for ideal square pyramidal. For the complexes under study, we described the geometry with  $0 < \tau < 0.5$  as dsp, while the geometry with  $0.5 < \tau < 1$  as dtbp.  $\tau$  value is obtained as 0.22 theoretically from  $\alpha[\text{N}(2)\text{-V-O}(2)]=138.71$  and  $\beta[\text{N}(1)\text{-V-O}(3)]=152.05^\circ$  angles for complex (1). In the same way  $\tau$  value is obtained as 0.46 for complex (2). The calculated  $\tau$  values are found between 0.5 and zero. Therefore, we will describe the geometry as dsp for complex (1) and (2).

The optimized molecular structures and atomic numbering scheme for complexes (3), (4) and (5) were given in Fig. 3.



**Fig. 3** Optimized molecular structures and atomic numbering scheme for complex (3), (4) and (5). Hydrogen atoms were omitted for clarity.

Figure 3 represents the vanadium(IV) ion with a N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coordination environment. Nitrogen atoms coordinate with vanadium(IV) from axial position. The two imine nitrogens are almost in trans position

in these structures. Oxygen atoms of two bidentate Schiff base ligands and oxo ligand constitute equatorial plane together with vanadium(IV) ion.

The calculated and experimental structural parameters were listed in Table 2. If the calculated structural parameters in Table 2 are compared with experimental values, it can be seen that the theoretical bond lengths are in a good agreement with experimental values. For complex (3), (4) and (5), V-O(1) bond distances are almost 1.60 Å; V-O(2), V-O(3) bond distances are 1.90 Å approximately and the average of V-N(1), V-N(2) bond distances are 2.10 Å. The biggest difference between experimental and theoretical bond length arises at V-O(1) (0.016 Å) for complex (3), V-O(1) (0.011 Å) for complex (4) and V-N(2) (0.021 Å) for complex (5).

As for evaluating bond angles, the calculated bond angles are compatible with the experimental bond angles. The biggest difference between experimental and theoretical bond angle appears at N(1)-V-N(2) (3.11°) for complex (3), O(1)-V-O(2) (2.41°) for complex (4) and N(1)-V-N(2) (3.49°) for complex (5).  $\tau$  value is obtained as 0.66 theoretically from  $\alpha$ [N(1)-V-N(2)]=126.59 and  $\beta$ [(O(2)-V-O(3)]=165.91° angles for complex (3). In the same way  $\tau$  values are obtained as 0.65 and 0.79 for complex (4) and (5), respectively. Since the calculated  $\tau$  values are found between 0.5 and 1.0, we will describe the geometry as dtbp for complex (3), (4) and (5). The calculated geometries for relevant complexes are compatible with experimental structures.

**Table 2.** The calculated and experimental parameters for complexes (3), (4) and (5).

Bond Length(Å)	Complex 3		Complex 4		Complex 5	
	Calc.	Exp <sup>a</sup> .	Calc.	Exp <sup>a</sup> .	Calc.	Exp <sup>a</sup> .
V - N(1)	2.1029	-	2.1052	2.098	2.097	2.089
V - N(2)	2.1029	2.097	2.1052	2.096	2.097	2.076
V - O(1)	1.6066	1.590	1.6097	1.5988	1.610	1.601
V - O(2)	1.9084	1.893	1.9090	1.9149	1.909	1.9027
V - O(3)	1.9085	-	1.9090	1.9117	1.909	1.9005
Bond Angle(°)						
N(1) - V - O(2)	86.80	-	86.87	87.56	86.32	86.19
N(1) - V - N(2)	165.91	162.8	166.14	164.17	169.26	165.77
N(1) - V - O(3)	86.88	87.5	86.95	86.21	88.45	87.34
N(2) - V - O(3)	86.80	85.2	86.87	86.84	86.32	87.11
O(1) - V - N(1)	97.04	-	96.93	98.07	95.36	97.32
O(1) - V - N(2)	97.05	98.6	96.93	97.77	95.37	96.86
O(1) - V - O(2)	116.72	-	116.53	114.12	119.12	118.36
O(1) - V - O(3)	116.68	115.2	116.53	116.56	119.15	117.66
O(2) - V - N(2)	86.88	-	86.95	85.87	86.46	86.07
O(2) - V - O(3)	126.59	129.6	126.94	129.31	121.73	123.99

<sup>a</sup>Experimental values are taken from Ref. 22

### 3.2 Vibrational Spectra

Several oxo metal(IV) complexes have been studied experimentally. (M=O) stretching frequencies have been determined and some (M=O) frequencies were given in Table 3.

## Sterik Olarak Kalabalık Olan Schiff

**Table 3.** Some experimental (M=O) stretching frequencies.

Complex	$\nu_{M=O}$ (cm <sup>-1</sup> )	References
[NBu <sup>n</sup> <sub>4</sub> ][MoO(mnt)(SPh)(bipy)].CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	921	39
[NBu <sup>n</sup> <sub>4</sub> ][MoO(mnt)(SPh)(phen)]	928	39
[Mo <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mnt) <sub>2</sub> (phen) <sub>2</sub> ].CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	974	39
[VO(EPA) <sub>2</sub> ]	983	40
[VO(DMMM) <sub>2</sub> ]	966	40
[VO(BDEM) <sub>2</sub> ]	1027	40
[VO(OOCC <sub>13</sub> H <sub>27</sub> )(SB-2)]	967	41
[VO(acac) <sub>2</sub> ]	997	42
[VO(maltol) <sub>2</sub> ]	993	42
[VO(mpp) <sub>2</sub> ]	983	42

The vibrational spectra of the five oxovanadium complexes were calculated by using B3LYP/LANL2DZ level in gas phase and scaled by 0.9257 [43]. Some calculated frequencies, assignments and band intensities were given in Table 4 for the complex (1) and (2). The experimental V-O(1) stretching frequencies were given as 988 and 984 cm<sup>-1</sup> for complex (1) and (2), respectively [22]. These frequencies were calculated as 983.3 and 981.4 cm<sup>-1</sup> in the optimized geometries. V-O(2) and V-O(3) stretching frequencies have been obtained as 529 cm<sup>-1</sup> by Xie *et al.* for similar salicylaldiminato oxovanadium(IV) complex [24]. This stretching frequency was calculated as 509.6 and 516.0 cm<sup>-1</sup> for complex (1) and (2), respectively. These results show that there is an agreement between the experimental and theoretical vibrational frequencies. The calculated stretching frequencies for V-N(1) and V-N(2) are lower than V-O(2) and V-O(3). The lower frequency indicates that V-N coordinations are weaker than V-O coordination.

**Table 4.** Selected vibrational frequencies for the complex (1) and (2).

Assignments	Complex (1)		Complex (2)	
	Freq. <sup>a</sup>	Intens. <sup>b</sup>	Freq. <sup>a</sup>	Intens. <sup>b</sup>
V-N(1), V-N(2) asym stretch	422.8	17.3	416.8	31.0
V-O(2), V-O(3) asym stretch	509.6	144.0	516.0	101.9
V-O(1) stretch	983.3	70.2	981.4	167.9
C-O stretch + ring C-H bend	1209.7	94.5	1212.3	100.0
C-C stretch	1466.2	282.5	1465.0	239.0
C-C stretch	1469.6	145.1	1475.2	174.4
C=N stretch	1520.6	591.5	1508.9	377.2
C=N stretch	1537.3	201.0	1531.4	229.6
C=C stretch	1544.1	87.4	1544.1	81.9
C=C stretch	1547.0	126.9	1547.1	143.1
C-H(methyl connected to ring) sym	2805.2	72.1	2803.9	71.9
C-H(t-but) asym	2894.1	111.9	2894.0	99.3

<sup>a</sup> Scaled frequencies are in unit cm<sup>-1</sup>, <sup>b</sup> Intensities are in unit km/mol

Some calculated stretching frequencies, assignments and band intensities were given in Table 5 for the complex (3), (4) and (5). The experimental V=O(1) stretching frequencies were obtained as 980, 976 and 968  $\text{cm}^{-1}$  for complex (3), (4) and (5) respectively[22]. These frequencies were calculated as 979.8, 970.6 and 970.1  $\text{cm}^{-1}$  in optimized geometries, respectively. These results are in a good agreement with experimental datum. In addition, calculated frequencies are close to experimental M=O frequencies in Table 3.

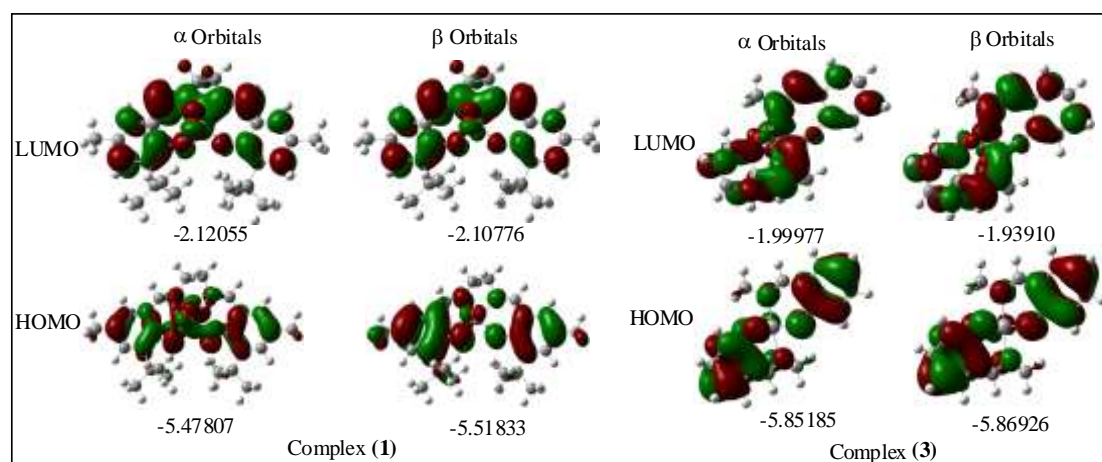
**Table 5.** Selected vibrational frequencies for the complex (3), (4) and (5).

Assignments	Complex (3)		Complex (4)		Complex (5)	
	Freq. <sup>a</sup>	Intens. <sup>b</sup>	Freq. <sup>a</sup>	Intens. <sup>b</sup>	Freq. <sup>a</sup>	Intens. <sup>b</sup>
V-N(1), V-N(2) asym stretch	432.9	94.9	512.3	85.5	394.7	69.1
V-O(2), V-O(3) asym stretch	598.8	134.5	607.7	66.3	534.1	184.8
V-O(1) stretch	979.8	207.1	970.6	181.3	970.1	218.1
C-O stretch + ring C-H bend	1188.8	78.2	1175.8	125.1	1177.5	207.8
C-O stretch + ring C-H bend	1222.5	435.7	1214.6	302.1	1206.6	171.7
C=C stretch	1471.5	136.7	1488.0	182.9	1479.0	165.5
C=C stretch	1527.0	100.9	1521.8	71.2	-	-
C=N stretch	1547.2	675.3	1539.9	523.8	1548.5	512.1
C=N stretch	1552.3	97.2	1544.7	87.8	1552.6	134.5
C-H(methyl) stretch	2808.5	112.9	2913.9	80.1	1842.8	83.2
C-H(t-but) stretch	-	-	-	-	2813.2	160.1
C-H(CN) stretch asym	2863.8	75.8	-	-	2861.1	71.5
C-H(t-but) stretch	-	-	-	-	2892.7	167.6

<sup>a</sup> Scaled frequencies are in unit  $\text{cm}^{-1}$ , <sup>b</sup> Intensities are in unit  $\text{km/mol}$

### 3.3 Electronic Spectra

Frontier orbitals, HOMO and LUMO, have an important role in electronic spectra and chemical reactions [44]. There are  $\alpha$  and  $\beta$  frontier orbitals in the complexes containing unpaired electrons. Due to the similarity of geometric structures, frontier orbitals of complex (1) are similar to complex (2) and frontier orbitals of complex (3) are similar to complex (4) and (5). Therefore, frontier orbital surfaces and energies for complex (1) and (3) were given in Fig. 4.



**Fig. 4.** Frontier orbital surfaces and energies (eV) for complex (1) and (3).

## Sterik Olarak Kalabalık Olan Schiff

As can be seen from Fig. 4, the energy gap is between 3.0-4.0 eV approximately. This energy range corresponds to the near UV region. Excitation energies of complexes were calculated by using B3LYP/LANL2DZ level in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> solvent for the assignment of the band. The excitation energies of the main band, electronic transitions, transition characters and orbital characters were determined and given in Table 6. As can be seen from Table 6, the calculated excitation energy of main band for each complex is consistent with experimental values. The transition characters (TC%) can be calculated from the wave function coefficients for each excitation. TC% were calculated from wave function coefficients which are greater than +0.15 and smaller than -0.15 by using Eq. (2) [45, 46].

$$\%TC = \frac{t^2}{\sum t^2} \times 100 \quad (2)$$

where t is the coefficient of the wave function for each excitation and  $\sum t^2$  is the sum of the squares of all coefficient of the wave function for each excitation in a specific band. Molecular orbital characters can be calculated from coefficients of atomic orbitals which contribute to a specific molecular orbital. % orbital characters (OC%) were calculated from atomic orbital coefficients which are greater than +0.1 and smaller than -0.1 by using Eq. (3) [47, 48].

$$\%OC = \frac{n^2}{\sum n^2} \times 100 \quad (3)$$

where n is the atomic orbital coefficient and  $\sum n^2$  is the sum of the squares of all atomic orbital coefficients in a specific molecular orbital.

**Table 6.** The calculated excitation energies (nm), oscillator strengths, transitions, % transition characters (%TC) and HOMO-LUMO characters (%OC) for five oxovanadium(IV) complexes.

Complex (1) ( $\alpha_{HOMO}=121, \beta_{HOMO}=120$ )									
Excitation Energy (nm) <sup>a</sup>	Oscillator Strengths	Transitions HOMO→LUMO	%TC	%OC (HOMO)			%OC (LUMO)		
				V	L	O	V	L	O
389.8 (388.1)	0.0581	119 $\alpha$ →122 $\alpha$	50.4	0.4	97.4	2.2	3.8	91.2	5.0
		120 $\alpha$ →122 $\alpha$	7.1	35.3	62.8	1.9	3.8	91.2	5.0
		120 $\alpha$ →126 $\alpha$	6.9	35.3	62.8	1.9	38.0	50.5	11.5
		119 $\beta$ →121 $\beta$	31.7	0.4	99.1	0.4	2.4	94.3	3.3
		120 $\beta$ →122 $\beta$	3.9	0.4	97.5	2.1	1.6	98.1	0.2
Complex (2) ( $\alpha_{HOMO}=125, \beta_{HOMO}=124$ )									
377.2 (387.0)	0.0426	123 $\alpha$ →126 $\alpha$	7.1	47.3	52.3	0.4	9.4	84.3	6.3
		124 $\alpha$ →127 $\alpha$	19.9	17.8	81.8	0.4	1.8	97.8	0.3
		125 $\alpha$ →127 $\alpha$	28.1	22.4	75.1	2.5	1.8	97.8	0.3
		123 $\beta$ →125 $\beta$	5.0	0.5	99.0	0.5	4.2	93.7	2.1
		123 $\beta$ →126 $\beta$	9.4	0.5	99.0	0.5	0.3	99.4	0.3
124 $\beta$ →126 $\beta$	30.4	0.5	96.8	2.7	0.3	99.4	0.3		
Complex (3) ( $\alpha_{HOMO}=82, \beta_{HOMO}=81$ )									
341.4 (348.0)	0.0631	82 $\alpha$ →84 $\alpha$	40.8	0.4	95.7	3.7	1.3	98.5	0.3
		80 $\beta$ →82 $\beta$	59.2	0.5	96.4	3.0	6.7	88.4	4.9
Complex (4) ( $\alpha_{HOMO}=106, \beta_{HOMO}=105$ )									
349.0 (354.0)	0.075	106 $\alpha$ →108 $\alpha$	55.9	0.4	82.5	17.1	1.3	98.5	0.3
		104 $\beta$ →106 $\beta$	44.1	0.5	87.0	12.6	7.1	92.6	0.3
Complex (5) ( $\alpha_{HOMO}=122, \beta_{HOMO}=121$ )									
357.6 (363.0)	0.073	122 $\alpha$ →124 $\alpha$	73.4	0.4	96.1	3.5	1.1	98.6	2.5
		120 $\beta$ →122 $\beta$	21.5	0.5	97.2	2.3	7.7	87.3	5.0
		121 $\beta$ →123 $\beta$	5.1	0.4	96.9	2.3	7.5	92.2	0.3

<sup>a</sup>Experimental values in bracket are taken from Ref. 22, L shows the Schiff base ligand

The main band for complex (1) appears at 389.8 nm. This band consists of electronic transitions between the following orbitals: 119 $\alpha$ →122 $\alpha$ , 120 $\alpha$ →122 $\alpha$ , 120 $\alpha$ →126 $\alpha$ , 119 $\beta$ →121 $\beta$  120 $\beta$ →122 $\beta$ . Where 120 $\beta$



and  $121\alpha$  orbitals are HOMO,  $121\beta$  and  $122\alpha$  orbitals are LUMO for complex (1). The largest contribution to the formation of this band is provided from the transitions  $119\alpha \rightarrow 122\alpha$  and  $119\beta \rightarrow 121\beta$ .  $119\alpha$ ,  $122\alpha$ ,  $119\beta$  and  $121\beta$  orbitals have L ligand character. Therefore, these transitions can be considered as intraligand (IL) or  $\pi \rightarrow \pi^*$  transitions. However, the transitions  $120\alpha \rightarrow 122\alpha$  and  $120\alpha \rightarrow 126\alpha$  with the lower transition character indicate that there are ligand to metal charge transfer (LMCT) transitions in complex (1). Similar comments can be made for other complexes. The other bands in electronic spectra of complexes have small extinction coefficient. The bands with small extinction coefficient were not obtained theoretically for the oxovanadium(IV) complexes. The calculated excitation energies for  $\pi \rightarrow \pi^*$  or LMCT transitions are in a good agreement with experimental energies.

### 3.4 Antidiabetic effects

Biological activity is expressed as a function of the quantum chemical parameters [49]. There are experimental/theoretical studies about the relationship between quantum chemical parameters and biological activity [50-52]. Antidiabetic effects of complexes can be discussed by using quantum chemical parameters. LUMO-HOMO energy gap ( $\Delta E$ ), global hardness ( $\eta$ ) and softness ( $\sigma$ ) were calculated from the frontier orbital energies by using Eq. (4), (5) and (6). These quantum chemical parameters were given in Table 7.

$$\Delta E = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}}{2} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{1}{\eta} \quad (6)$$

**Table 7.** Some quantum chemical parameters of oxovanadium(IV) complexes.

Parameter	Complex (1)	Complex (2)	Complex (3)	Complex (4)	Complex (5)
$\alpha$ - $E_{\text{LUMO}}$ (eV)	-2.232	-2.143	-2.076	-1.986	-2.000
$\alpha$ - $E_{\text{HOMO}}$ (eV)	-5.407	-5.391	-5.769	-5.708	-5.648
Energy gap ( $\Delta E$ )	3.174	3.249	3.694	3.722	3.648
Hardness ( $\eta$ )	1.587	1.624	1.847	1.861	1.824
Softness ( $\sigma$ )	0.630	0.616	0.541	0.537	0.548

As can be seen from Table 7, the trend of quantum chemical parameters depend on the molecular geometries of complexes. Energy gap and hardness of dtbp complexes decrease in the order (4)>(3)>(5). Energy gaps of dtbp complexes are greater than dsp. This result indicates that global hardness of dtbp complexes are greater than dsp. Global hardness of complex (2) is greater than complex (1).

$E_{\text{HOMO}}$  is a quantum chemical descriptor and usually associated with electron donating ability of molecule. High value of  $E_{\text{HOMO}}$  indicates the tendency of electron transfer to low empty molecular orbital of appropriate acceptor molecule. If the energy of HOMO is decisive for the antidiabetic effect, the ranking of the complexes should be:

$$(2) > (1) > (5) > (4) > (3)$$

## Sterik Olarak Kalabalık Olan Schiff

The low  $E_{\text{LUMO}}$  value indicates the ability of the complex to accept electrons [53]. The interaction ability of complex with enzyme increases with increasing of the HOMO and decreasing of the LUMO of complexes. If the energy of LUMO is decisive for the antidiabetic effect, the ranking of the complexes should be:

$$(1) > (2) > (3) > (5) > (4)$$

The LUMO-HOMO energy gap ( $\Delta E$ ) is an important parameter as a function of reactivity of complexes towards diabetes mellitus. The smaller value of  $\Delta E$  means the more reactivity [54]. According to the  $\Delta E$  values, the ranking of complexes should be:

$$(1) > (2) > (5) > (3) > (4)$$

The other important parameters are hardness and softness to explain the activity of complexes. The coordination tendencies of complexes towards the enzymes can be discussed with the HSAB (hard-soft-acid-base) approximation [55]. The rule is that hard acids prefer to coordinate to hard bases and soft acids to soft bases. Hard molecules have a big  $\Delta E$  and soft molecules have small  $\Delta E$  [55]. Soft complexes can interact easily with enzyme. Because enzymes are big and soft molecules. The softness of mentioned complexes ranking should be:

$$(1) > (2) > (5) > (3) > (4)$$

Given the above description, the activity ranking of complexes toward diabetes mellitus should be as following:

$$(1) > (2) > (5) > (3) > (4)$$

## 4. CONCLUSIONS

The electronic structure for five oxovanadium(IV) complexes with sterically crowded schiff base ligands were optimized by using DFT/B3LYP method with LANL2DZ basis set. The optimization results were indicated that the calculated structural parameters are in a good agreement with experimental values. The molecular geometries were predicted from calculated  $\tau$  values. It was found that the structures of complexes (1) and (2) are distorted square pyramidal and complexes (3), (4) and (5) are distorted trigonal bipyramidal. Vibrational spectra of oxovanadium(IV) complexes were evaluated. Some calculated frequencies were confirmed with experimental frequencies. Electronic spectra were calculated by using TD-DFT/B3LYP method with LANL2DZ basis set in  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  solvent. It was found that  $\pi \rightarrow \pi^*$  or LMCT transitions had large oscillator strength. Theoretical excitation energies of transitions with large oscillator strength are in a good agreement with experimental values. Quantum chemical parameters were calculated to predict the antidiabetic effect of complexes and the activity ranking of mentioned complexes was found as (1) > (2) > (5) > (3) > (4).

## ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported by the Scientific Research Project Fund of Cumhuriyet University under the project number F-308.

## REFERENCES

- [1] Biernacki K., Alexandre L., Freire Magalhaes C. and Rangel M., *Struct. Chem.*, 2011, 22, 697.
- [2] Vanadium in Biological Systems, Chasteen N.D. Ed., Kluwer, Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1990.
- [3] Vanadium and its role in life, Sigel H., Sigel A., Eds., Marcel Decker, vol. 31, New York, 1995
- [4] Yeh G.Y., Eisenberg D.M., Kaptchuck T.J. and Phillips R.S., *Diabetes Care*, 2003, 26, 1277.
- [5] Sakurai H., Yasui H. and Adachi Y., *Expert Opin Investig Drugs*, 2003, 12, 1189.
- [6] Thompson K.H. and Orving C., *Coord. Chem. Rev.*, 2001, 219-221, 1033.
- [7] Shechter Y., Goldwasser I., Mironchik M., Fridkin M. and Gefel D., *Coord. Chem. Rev.*, 2003, 237, 3.
- [8] Saha T.K., Yoshikawa Y., Yasui H. and Sakurai H., *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 2006, 79, 1191.
- [9] Sakurai H., Fujii K., Watanabe H. and Tamura H., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 1995, 214, 1095.
- [10] Fujimoto S., Fujii K., Yasui H., Matsushita R., Takada J., Sakurai H. and Clin J., *Biochem. Nutr.*, 1997, 23, 113.
- [11] Tawa R., Uchida K., Taniyama J., Fujisawa Y., Fujimoto S., Nagaoka T., Kanamori K. and Sakurai H., *J. Pharm. Pharmacol.*, 1999, 51, 119.
- [12] Sakurai H., Tamura A., Takino T., Ozutsumi K., Kawabe K. and Kojima Y., *Inorg. React. Mech.*, 2000, 2, 69.
- [13] Mokry L.M. and Carrano C.J., *Inorg. Chem.*, 1993, 32, 6119.
- [14] Rath S.P., Mondal S. and Chakravorty A., *Inorg. Chim. Acta*, 1997, 263, 247.
- [15] Diamantis A.A., Frederiksen J.M., Abdus Salam M.D., Snow M.R. and Tiekink E.R.T., *Aust. J. Chem.*, 1986, 39, 1081.
- [16] Wang W., Wang X., Liu H.-X. and Tan M.-Y., *J. Coord. Chem.*, 1995, 36, 49.
- [17] Ludwig E., Hefele H., Friedrich A., Kallies B., Schilde U., Uhlemann E. and Hahn E.Z., *Anorg. Allg. Chem.*, 1995, 621, 488.
- [18] Liu S.-X. and Gao S., *Inorg. Chim. Acta*, 1998, 282, 149.
- [19] Gao S., Weng Z.-Q. and Liu S.-X., *Polyhedron*, 1998, 17, 3595.
- [20] Chakravarty J., Dutta S., Dey A. and Chakravorty A., *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, 1994, 557.
- [21] Liu S.-X. and Gao S., *Polyhedron*, 1998, 17, 81.
- [22] Cornman R.C., Geiser-Bush K.M., Rowley P.S. and Boyle P.D., *Inorg. Chem.*, 1997, 36, 6401.
- [23] Sakurai H., Kojima Y., Yoshikawa Y., Kawabe K. and Yasui H., *Coordination Chemistry Reviews*, 2002, 226, 187.
- [24] Xie M., Xu G., Li L., Liu W., Niu Y. and Yan S., *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2007, 42, 817.
- [25] Xie M., Gao L., Li L., Liu W. and Yan S., *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2005, 99, 546.
- [26] Sakurai H., Funakoshi S. and Adachi Y., *Pure Appl. Chem.*, 2005, 77, 1629.
- [27] Misra S., Pandeya K.B., Tiwari A.K., Ali A.Z., Saradamani T. and Agawane S.B., *International Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012, 4, 11.
- [28] Adachi Y., Yoshida J., Kodera Y., Katoh A., Takada J. and Sakurai H., *J. Med. Chem.*, 2006, 49, 3251.
- [29] GaussView 5.0, (Gaussian Inc. Wallingford, CT, USA) 2009.
- [30] Gaussian 09, rev. A-02, (Gaussian Inc. Wallingford, CT, USA) 2009.
- [31] Hay P.J. and Wadt W.R., *The Journal of Chemical Physics*, 1985, 82, 270.
- [32] Becke A.D. and J. Chem. Phys., 1993, 98, 5648.
- [33] Lee C., Yang W. and Parr R.G., *Phys. Rev. B*, 1988, 37, 785.
- [34] Karakaş D. and Sayin K., *Ind. J. Chem.*, 2013, 52A, 480.

## Sterik Olarak Kalabalık Olan Schiff

- [35] Lopes Jesus A.J., Tomé Luciana I.N., Eusébio M. Ermelinda S., Rosado Mário T.S. and Redinha J.S., *J. Phys. Chem. A*, 2007, 111, 3432.
- [36] Liu T., Zhang H.-X. and Xia B.-H., *J. Phys. Chem. A*, 2007, 111, 8724.
- [37] Zhou X., Zhang H.-X., Pan Q.-J., Xia B.-H. and Tang A.-C., *J. Phys. Chem. A*, 2005, 109, 8809.
- [38] Zhou X., Ren A.-M. and Feng J.-K., *J. Organomet. Chem.*, 2005, 690, 338.
- [39] Mitra J., Sarkar S., *Inorg. Chem.*, 2013, 52, 3032.
- [40] Sheela A., Sarada N.C. and Vijayaraghavan R., *Med. Chem. Res.*, 2013, 22, 2929.
- [41] Singh A.K., Tripathi K. and Baranwal B.P., *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 2013, 43, 984.
- [42] Biernacki K., Magalhaes A.L., Freire C. and Rangel M., *Struct. Chem.*, 2011, 22, 697.
- [43] Karamzadeh B., Kumar D., Narahari Sastry G. and de Visser S.P., *J. Phys. Chem. A*, 2010, 114, 13234.
- [44] *Frontier orbitals and Organic Chemical Reactions*, Fleming I., Wiley, London, 1976.
- [45] Sayin K. and Karakaş D., *J. New. Results Sci.*, 2013, 2, 47.
- [46] Sayin K. and Karakaş D., *J. New. Results Sci.*, 2013. 2, 54.
- [47] Sayin K. and Karakaş D., *Corros. Sci.*, 2013, 77, 37.
- [48] Xiao-Ying Hu, Xiao-Juan Liu and Ji-Kang Feng, *Chinese J. Chem.*, 2007, 25, 1370.
- [49] *Physical Chemistry (9<sup>th</sup> Edition)*, Atkins P & De Paula J, Oxford University Press, New York, UK, 2010.
- [50] LoPachin R.M., Gavin T., Geohagen B.C. and Das S., *Toxicological Sciences*, 2007, 98, 561.
- [51] Ferreira I.P., de Lima G.M., Paniago E.B., Rocha W.R., Takahashi J.A., Pinheiro C.B. and Ardisson J.D., *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2012, 58, 493.
- [52] Basheer M.M., Volpe P.L.O. and Airoidi C., *International Journal of Pharmaceutics*, 2004, 282, 163.
- [53] Kohn W. and Sham L.J., *Phys. Rev.*, 1965, 137, A1697.
- [54] Zhang F., Tang Y., Cao Z., Jing W., Wu Z. and Chen Y., *Corros. Sci.*, 2012, 61, 1.
- [55] Ernst-Christian Koch, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2005, 30, 5.

## Nükleer Yakıt Zenginleştirme İşleminde Kullanılan Gaz Santrifüj

### Yönteminin İncelenmesi

Recep AKKAYA<sup>1</sup>, Seyit Rıza TOKGÖZ<sup>1\*</sup>, Elif KEMAH<sup>1</sup>

Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya

Received: 01.11.2016; Accepted: 22.11.2016

**Özet.** Nükleer teknolojiye sahip olmak, günümüz ülkelerinin gelişmişliğinin bir ölçüsü olup, bu çalışmada nükleer reaktörlerde kullanılan yakıtın santrifüj yöntemi ile zenginleştirilmesi incelenmiştir. Santrifüj metodunda ayrıştırma faktörünün hesaplanması, farklı tip santrifüjler' in ayrıştırma iş birimlerinin bulunması ve bunların performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nükleer teknoloji; Santrifüj metodu; Ayrıştırma faktörü; Ayrıştırma iş birimi(SWU)

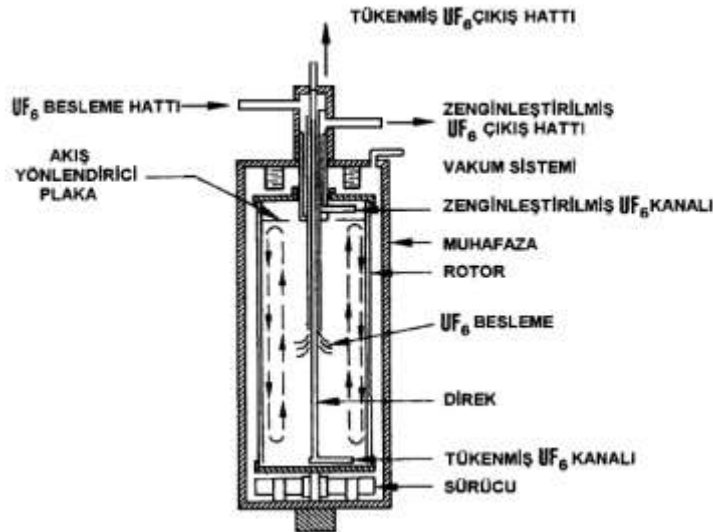
## Investigation of Gas Centrifuge Method Used In Nuclear Fuel Enrichment Processing

**Abstract.** Having nuclear technology is a measure of the development of present-day countries. In this study, the enrichment process of fuel used in nuclear reactors by centrifugation method has been investigated. The centrifugation method has been used to calculate the separation factor, to find the separation units of different types of centrifuges, and their performance has been compared.

**Keywords:** Nuclear technology, Centrifuge method, Separation factor, Separation work unit (SWU)

## 1. GİRİŞ

Gaz santrifüj sabit bir açılma hızla kendi eksenini etrafında döndürülen, içi boş dikey bir silindirdir. Santrifüj içerisinde akım girişini ve çıkışını sağlayan çubuklar bulunmaktadır. Bunlar besleme akımının giriş yaptığı, U-235 bakımından zenginleşmiş akımın çıktığı ve fakir akımın çıktığı çubuklardır. Santrifüj 'ün şematik görünümü Şekil.1'de verilmektedir.



Şekil 1. Santrifüjün yapısı [1].

\* Corresponding author. Email address: seyitrizatokgoz@gmail.com

## Nükleer Yakıt Zenginleştirme

Bir santrifüjde bulunan başlıca parçalar şunlardır: Alt ve üst kepeçler, merkezi direk, üst ve alt süspansiyon sistemleri, elektro-manyetik motor, gövde, moleküler pompa ve kapaklar'dır. Antrifüj metodu ile uranyum hexaflorid ( $UF_6$ ) içerisinde bulunan  $^{238}UF_6$  ve  $^{235}UF_6$  molekülleri birbirinden ayrılabilir. Santrifüj yönteminde saflaştırma işlemi  $UF_6$  gazı bulunan silindirik bir ünitenin yüksek hızda döndürülmesi ile oluşmaktadır. Bu silindirik ünitenin içinde konulan  $UF_6$  gazı yüksek hızda döndürülmesi sonucunda ağır olan  $^{238}UF_6$  molekülü merkezkaç kuvvetinin büyük olması sebebiyle kenarlarda, daha hafif olan  $^{235}UF_6$  molekülü de merkezkaç kuvveti küçük olduğundan ortada birikmektedir. Ağır ve hafif molekülleri ayırtmak maksadı ile tüpler yerleştirilmiş ve bu tüplerden ağır ve hafif moleküller santrifüj 'den ayrılmaktadır.[8]

Santrifüjün dış kısmı ağır olan molekülün merkezkaç kuvvetine karşı dayanıklı olan malzemelerden yapılmıştır. Ayrıca santrifüj yüksek hızlarda döndürüldüğünden, yapı malzemeleri yüksek hızlara karşı korozyonu önleyici dayanıklı ürünlerden imal edilir.

### 2. AYRIŞTIRMA FAKTÖRÜ

Merkezkaç kuvvetinin etkisiyle rotor yarıçapı boyunca izotopların bir kısmı ayrılır.

İdeal gaz olarak  $UF_6$  göz önüne alındığında, basınç gradyanı;

$$\left(\frac{dp}{dr}\right) = \left(\frac{M.p}{R.T}\right) \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2.1)$$

İfadesiyle verilmekte olup, burada

p basınç, M gazın moleküler ağırlığı, T mutlak sıcaklık, R gaz sabiti,  $\omega$  dönme açısal frekansı ve r radyal koordinat 'tır.

Yukardaki denklemi düzenlenirse, eksen ile duvar arasındaki basınç oranı;

$$\left(\frac{p(r)}{p(0)}\right) = e^{\left(-\frac{M.\omega^2.r^2}{2.R.T}\right)} \quad (2.2)$$

elde edilir.

$M_1$  ve  $M_2$  molekül ağırlıklı iki ideal gaz karışımının basınç farkı, denge şartları altında iki molekülün radyal ayrılmasına neden olur. İki gaz arasındaki elementer ayrışma faktörü;

$$\alpha(0) = \left(\frac{x_1(0)}{x_2(0)}\right) / \left(\frac{x_1(r)}{x_2(r)}\right) = e^{[(M_2-M_1).\omega^2.r^2/(2.R.T)]} \quad (2.3)$$

şekilde olup burada  $x_1$  ve  $x_2$ , sırasıyla 1. ve 2. konsantrasyonları ve r ise rotor yarıçapını gösterir.

Bu metotta ayırma faktörü, bileşenlerin molekül ağırlıkları farkının bir fonksiyonudur ve rotorun uçları arasında bir sıcaklık farkı oluşturarak rotor içinde aksel olarak ters yönlü bir gaz akımı sağlanır. Tablo.1' de denklem (2.3) kullanarak  $UF_6$  için farklı hızlardaki ayırma faktörleri hesaplanmıştır.

**Tablo.1** T=310 K için uranyum izotoplarının ayırıştırma faktörleri [8].

<i>Çizgisel Hız (m/sn)</i>	<i>Ayırıştırma faktörü (α)</i>
400	1,097592629
500	1,156616402
600	1,23308399
700	1,329998403
800	1,451325171
900	1,602261816
1000	1,789605833

Yüksek dönme hızlarında büyük ayırma performansı elde edildiği görülmekte, yüksek hızlarda, sabit kepçe önünde şok dalgaları oluşmakta ve bu şok dalgalarla ortaya çıkan sıcaklık, işlem gazının (UF<sub>6</sub>) ayrışmasına sebep olmaktadır. Maksimum ayırıştırma faktörü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\alpha(max) = \frac{L \cdot \sqrt{2}}{d} \cdot e^{[(M_2 - M_1) \cdot \omega^2 \cdot r^2 / (2 \cdot R \cdot T)]} \quad (2.4)$$

Burada L rotor uzunluğu, M<sub>2</sub> ve M<sub>1</sub> <sup>235</sup>UF<sub>6</sub> ve <sup>238</sup>UF<sub>6</sub> moleküllerinin ağırlıklarını, R gaz sabitini, T sıcaklığı ve d ise santrifüj çapını göstermektedir.[4] Denklem (2.4)'ü kullanarak farklı tip santrifüjler için ayırıştırma faktörleri hesaplanıp grafiği şekil.5'te gösterilmiştir.

### 3. AYRIŞTIRMA İŞ BİRİMİ:

1941 yılında, Dirac maksimum teorik kapasitede çalışan bir gaz santrifüj için ayırıştırma iş biriminin;

$$\Delta U(max) = \frac{\pi}{2} L \cdot \rho \cdot D \left( \frac{\Delta M v_a^2}{2RT} \right)^2 \quad (3.1)$$

denklemini ile bulanabileceğini göstermiştir.[4]

Burada ΔU ayırıştırma iş birimi (SWU/yıl), L rotor uzunluğu (m), ρ gazın yoğunluğu, D öz difüzyon katsayısı, ΔM molekül ağırlıklarının farkı (0,003kg/mol), R gaz sabiti (8,314 j/mol.K), T sıcaklık (°K) ve v<sub>a</sub> hız (m/sn) göstermektedir. Tablo 2'de rotor uzunluğu L=1,5 m olan bir santrifüjün T=300 K'de farklı hız değerleri için ayırıştırma iş birimleri gösterilmiştir. (300 K'de UF<sub>6</sub> için ρ.D=2,3.10<sup>-5</sup> kg UF<sub>6</sub>/m.s).

**Tablo 2.** Farklı hız değerlerine göre ayırıştırma iş birimi değerleri

<i>V<sub>a</sub> (m/sn)</i>	<i>U Ayırıştırma iş birimi (SWU/yr)</i>
400	15,8236079
500	38,63185521
600	80,10701497
700	148,408135
800	253,1777263
900	405,5417633
1000	618,1096834

## Nükleer Yakıt Zenginleştirme

Tablo 2' de görüldüğü gibi ayrıştırma iş birimi hızın artması ile parabolik bir artış göstermektedir. Yüksek seviyelerde SWU/yıl elde etmek için santrifüj yüksek hızlarla döndürülür. Bu sebeple yüksek hıza dayanıklı santrifüjler (AC100 gibi) tasarlanmıştır.

### 3.1. AC100 (Amerikan Modeli)

AC100 Amerikan santrifüj tipidir. Rotor kısmı karbon fiber 'den yapılmıştır. AC100 tasarımı, Rus ve Avrupa santrifüj tasarımlarının aksine, daha büyük santrifüjlerin dizilerinden oluşmaktadır. Çapı 60 cm ve boyu ise 12 m uzunluğundadır. Rotor hızı 900 m/s ye kadar çıkmaktadır. 30 yıllık ömre sahiptir. AC 100 santrifüjü dünyanın en gelişmiş ve verimli santrifüjüdür. AC100 yılda 340 SWU 'u aşan bir ayrıştırma performansına sahiptir. Ortalama yılda 340 SWU performansında çalıştırılırsa, her kuyruk yılda 245,000 SWU 'den fazla kapasitede ve 16 kuyruk yılda toplam 3.700.000 SWU ' den fazla kapasiteye sahip olur. Bu üretim seviyeleri ABD ulusal güvenlik amaçları ve ABD ve dünya çapında ticari nükleer güç reaktörleri için gerekli zenginleştirilmiş uranyumu sağlayabilir. [5, 7] Tablo, 3'te farklı hızlarda AC100 santrifüjü için ayrıştırma faktörü ve ayrıştırma iş birimleri verilmiştir.

**Tablo 3.** AC100 için farklı hız değerlerine göre ayrıştırma faktörü ve ayrıştırma iş birimi.

Hız (m/s)	$\alpha_{(max.)}$	Sıcaklık (K)	$\Delta U$ (SWU/yıl)
300	29,85736177	300	40,05350762
400	31,14111904	300	126,5888636
500	32,8730993	300	309,0548427
600	35,12131281	300	640,8561219
700	37,97733482	300	1187,265084
800	41,56252065	300	2025,421817
900	46,03656654	300	3244,334117
1000	51,60925931	300	4944,877484

Tablo 3' te görüldüğü gibi ayrıştırma faktörü ve ayrıştırma iş birimi hızın artması ile artmıştır.

AC100 tipi santrifüjlerde yüksek seviyelerde SWU elde etmek için santrifüj boylarını yüksek tutulup (~12 m) hızları arttırılmıştır.

### 3.2. TC-21(Avrupa Tipi)

URENCO tarafından tasarlanmıştır. Karbon fiber rotorludur. Çapı 20 cm olup boyu 5 m'dir. Ayrıştırma gücü 100 SWU/yıl civarındadır[5]. Denklem (2,4) ve denklem (3,1)'i kullanarak TC-21 türü bir santrifüj için farklı hızlarda ayrıştırma faktörü ve SWU ayrıştırma iş birimini hesaplanıp tablo 4' te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** TC-21 için farklı hız değerlerine göre ayrıştırma faktörü ve ayrıştırma iş birimi

Hız (m/s)	$a$ (max.)	Sıcaklık (K)	$\Delta U$ (SWU/yıl)
300	37,32170221	300	16,68896151
400	38,9263988	300	52,74535983
500	41,09137412	300	128,7728511
600	43,90164102	300	267,0233841
700	47,47166852	300	494,6937849
800	51,95315081	300	843,9257572
900	57,54570817	300	1351,805882
1000	64,51157414	300	2060,365618



### 3.3. TC-12 (Avrupa Tipi)

URENCO tarafından tasarlanmıştır. Karbon fiber rotorludur. Çapı 20 cm ve boyu ise 3 m'dir. TC-12 dördüncü nesil santrifüj' dür ve ayırıştırma gücü 40 SWU/yıl civarındadır [5]. TC-12 santrifüjü için hıza bağlı ayırıştırma faktörü ve ayırıştırma iş birim değişimi tablo 5' te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** TC-12 için farklı hız değerlerine göre ayırıştırma faktörü ve ayırıştırma iş birimi.

<i>Hız (m/s)</i>	<i>a (max.)</i>	<i>Sıcaklık (K)</i>	<i>ΔU (SWU/yıl)</i>
200	21,72969157	300	1,977950993
300	22,39302133	300	10,0133769
400	23,35583928	300	31,6472159
500	24,65482447	300	77,26371068
600	26,34098461	300	160,2140305
700	28,48300111	300	296,816271
800	31,17189048	300	506,3554543
900	34,5274249	300	811,0835292

### 3.4. Rus tipi santrifüj

Rus gaz santrifüj tasarımları TENEX tarafından yapılmıştır. Bu santrifüj zenginleştirme işleminde yaklaşım: basit, küçük santrifüjler ve büyük dizilimler olmuştur. Çapı 12-16 cm olup boyu ise 60-70 cm'dir. [3,9] Tablo 6' da Rus tipi santrifüj için ayırıştırma iş birimi ve ayırıştırma faktörü verilmiştir.

**Tablo 6.** Rus tipi santrifüj için farklı hız değerlerine göre ayırıştırma faktörü ve ayırıştırma iş birimi.

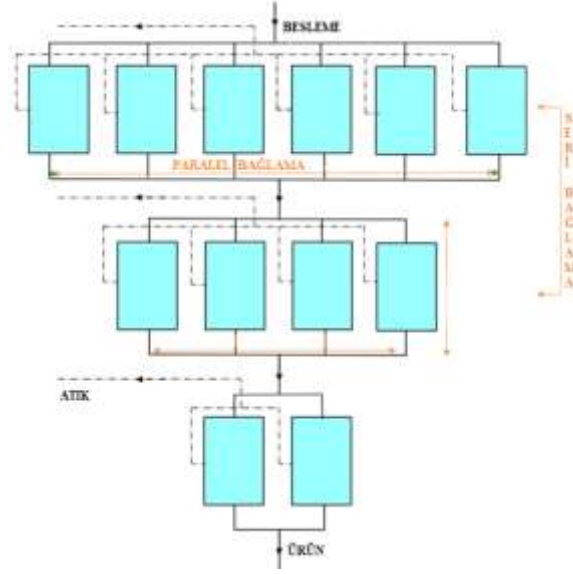
<i>Hız (m/s)</i>	<i>a (max.)</i>	<i>Sıcaklık (K)</i>	<i>ΔU (SWU/yıl)</i>
300	6,931173268	300	2,169564996
400	7,229188348	300	6,856896777
500	7,631255194	300	16,74047065
600	8,153161903	300	34,71303993
700	8,816167011	300	64,31019204
800	9,648442293	300	109,7103484
900	10,68706009	300	175,7347647

Gerekli zenginleştirme düzeyini tek bir santrifüjde gerçekleştirmek mümkün olmadığından santrifüjler art arda bağlanır. Bir santrifüj' den geçen gazın akış hızının yüksek olmadığı zamanlarda çok sayıda santrifüjün paralel bağlanarak kaskat sayısı artırılır.

## 4. KASKATLAR

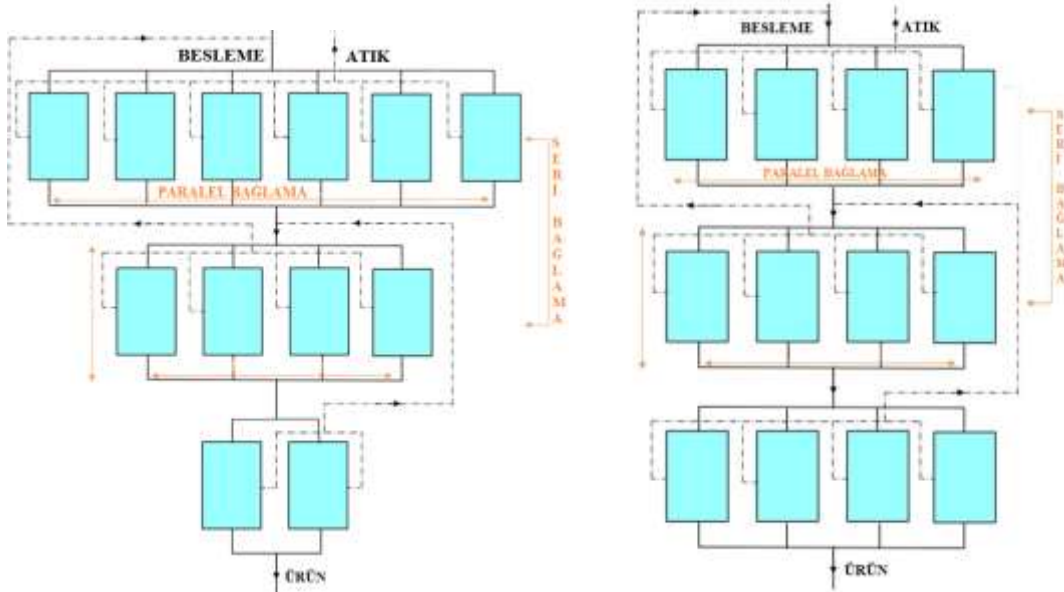
Kaskat, etkin bir şekilde ürün akımının zenginleştirme düzeyini arttırmak için birden fazla santrifüj makinesinin seri ve paralel olarak bağlanması olarak isimlendirilir. Üründen istenen zenginlik kaskat aşamalarının sayısını belirler.

## Nükleer Yakıt Zenginleştirme



Şekil 2. Basit bir kaskatın şematik görünümü.[10].

Şekilde 2' de görüldüğü gibi kaskatlar da besleme girişi, ürün ve fakir akım çıkışı bulunmaktadır. Günümüzde farklı tür kaskatlar vardır. Geri dönüşümlü kaskat, simetrik kaskat ve kare kaskatlar bunlara örnek verilebilir. Geri dönüşümlü kaskatlar, zenginleştirme ve sıyırma bölümlerinden oluşmaktadır. Bu bölümler besleme noktasında birleşir. Sıyırma kısmında elde edilmiş zengin akım besleme akımına ilave edilir. Simetrik ve kare kaskatların şekilleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 3. Simetrik ve kare kaskatın şematik görünümü.

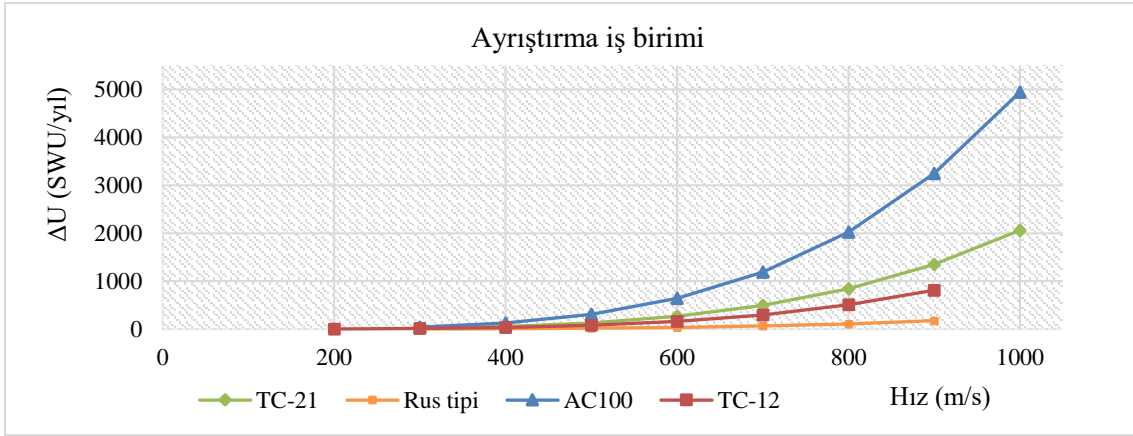
Simetrik kaskatlar da fakir akım bir önceki kademeye gönderilirken zengin akım bir sonraki kademeye gönderilir ve bu şekilde devam eder. Ürün ve atık uçlara doğru birlikte azalır. Kare kaskatlar da ise tüm aşamalar aynı akış oranına sahiptir bu sebeple her aşamada makine sayısı aynıdır. Bu tür kaskatlar verimli değildir ve nadiren kullanılır. İyi verim oranları elde etmek amacıyla her bir santrifüj performansı ve çıkış akımları sürekli takip edilmektedir.

## 5. SONUÇ ve YORUM

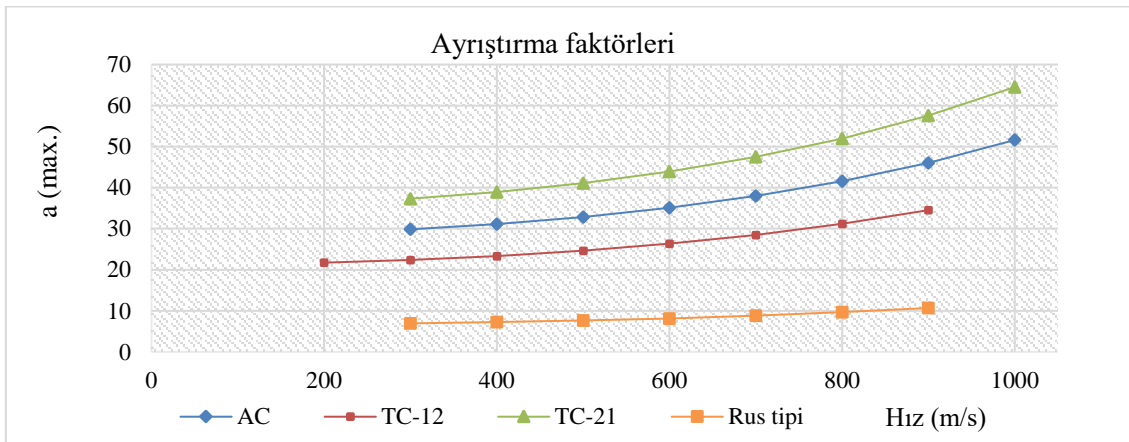
Santrifüj ile zenginleştirme yönteminin en önemli avantajlarından biri, tesis kapasitesinin genişletilmesindeki kolaylığıdır. Ek kapasite ekonomik avantajlar sağlayan pazar taleplerine göre hızlı bir şekilde büyütülmektedir.

Santrifüj yöntemi difüzyon yöntemine göre daha avantajlıdır. Çünkü aynı ayırma işi kapasitesi için %96 daha az elektrik kullanır. Örneğin 10 milyon kg-SWU/yıl kapasiteli bir difüzyon tesisi 2700 MW elektrik güç gerektirirken, aynı kapasitede bir santrifüj tesisi 109 MW elektrik kurulu güç gerektirir[2].

Santrifüj 'ün ayırma iş birimi santrifüj boyu ve hızı ile orantıdır. Bu sebeple hız ve santrifüj uzunluğunun büyük olması istenir. Ancak santrifüjün hızı ve boyu değiştirmeden verim arttırılmak istenirse o zaman kaskat sayısı arttırılmalıdır. Örneğin Rus tipi santrifüjlerin boyu ve hızı diğerlerine göre daha küçük olduğundan verimi arttırmak için kaskat sayısı arttırılır. Şekil 4' te farklı tip santrifüjlerin 300 K de ayırma iş birimleri gösterilmiştir.



Şekil 4. T=300 K' de farklı tip santrifüjlerin ayırma iş birimlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5. 300 K de farklı tip santrifüjlerin ayırma faktörlerinin karşılaştırılması.

## Nükleer Yakıt Zenginleştirme

Şekil 4 'te görüldüğü gibi rotor uzunluğu büyük olan AC100 santrifüj daha büyük ayırıştırma iş birimine sahiptir. Ancak ayırıştırma faktörleri karşılaştırıldığında TC-21 tip santrifüj 'ün ayırıştırma faktörünün daha büyük olduğu görülür.( şekil 5).

Bir kaskat' ta verimi arttırmak için kademe başına makinelerin sayısı arttırılır. İdeal bir kaskat' ta her aşama için aynı ayırıştırma faktörüne sahip olması gerekir çünkü farklı konsantrasyonlardaki akımların karışımı en aza indirilir. Böylece enerji tüketimini azaltılabilir.

### KAYNAKLAR

- [1]. Kessler G. Çeviren: Süleyman Sırrı ÖZTEK, Nükleer Fisyon Reaktörleri, Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EUAS): Translation from the English language edition:2003.
- [2]. Lamarsh JR, Baratta AJ. Çeviren: Okan ZABUNOĞLU, Nükleer Mühendisliğe Giriş (3rd edition), Palme yayınları: Translation from the English language edition:2015. ISBN: 978-605-355-309-0.
- [3]. Kee E, Fauver JC, ACP & World Enrichment Market Final, NERA Economic Consulting 1255 23rd Street, NW Washington, DC 20037 www.nera.com
- [4]. Heriot I D, Uranium Enrichment By Gas Centrifuge, Published by the commission of the european communities, ISBN 92-825-8960-9. Catalogue number: CD-NA-11486-EN-C.
- [5]. Glaser A, Characteristics of the Gas Centrifuge for Uranium Enrichment and Their Relevance for Nuclear Weapon Proliferation (corrected), Science and Global Security, 16:1–25, 2008 Taylor & Francis Group, LLC ISSN: 0892-9882 print / 1547-7800 online DOI: 10.1080/08929880802335998.
- [6]. Laughter M D, Profile of World Uranium Enrichment Programs-2009, Global Nuclear Security Technology Division, ORNL/TM-2009/110.
- [7]. Sullivan P E, Final Scientific Technical Report July 2014, USEC Inc. DOE Cooperative Agreement No. DENE0000530.
- [8]. Tokgöz SR, Kemah E, Akkaya R, Nükleer Yakıt Üretiminde, Hızlandırıcı Kaynaklı Sistemler (ADS) ile Konvansiyonel Zenginleştirme Sistemlerinin Karşılaştırılması, 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, ISSN: 2148-7464,p.p211-221, 18-20 June 2014, Karabük University ISITES2014.
- [9]. Bukharin O, Russia's Gaseous Centrifuge Technology And Uranium Enrichment Complex, Program on Science and Global Security Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University, January 2004.
- [10].<http://fas.org/issues/nonproliferation-counterproliferation/nuclear-fuel-cycle/uranium-enrichment-gas-centrifuge-technology/enrichment-cascades/>



## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri: Fiziksel Metotlar

Dr. Sedat KURUGÖL

*Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, MYO Mimari Restorasyon Programı, İstanbul*

Received: 27.05.2016; Accepted: 02.06.2017

**Özet.** Puzolanik aktivite terimi, kireç ve su karışımının meydana getirdiği alkali ortam içerisinde puzolan özellikli bir maddenin kimyasal reaksiyonunu ve bu reaksiyon sonucu ortaya çıkan değişiklikleri ifade etmek için kullanılan genel bir ifadedir. Bu mekanizma, basit bir süreç olmayıp, reaksiyonda rol oynayan elemanların mineralojik kompozisyonun bozulmasıyla ortaya çıkan bir seri kimyasal değişim yada dönüşüm proseslerini içermektedir. Puzolanik reaksiyon sırasında meydana gelen bu değişiklikleri tespit etmek amacıyla kimyasal, fiziksel, mekanik ve analitik içerikli test yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birleşik olarak yada bazılarından yararlanarak çeşitli maddelerin puzolanlık karakteristiklerini belirlemek amacıyla birçok araştırma yapılmış olmakla birlikte, bahsedilen yöntemlerin topluca ele alınarak değerlendirildiği çalışmalar literatürde yetersizdir. Bu incelemede, puzolanik aktivitenin tespitinde uygulanan yöntemlerden sadece fiziksel metotlar ele alınıp, temel yaklaşımları açıklanmakta ve bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalardan örnekler verilmektedir. Ayrıca bu yöntemlerin genel bir değerlendirmesi de yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Puzolan, puzolanik aktivite, elektriksel iletim, termogravimetrik analiz, izotermal kalorimetri

## Puzzolanic Activity Detection Procedure: Physical Methods

**Abstract.** The term of puzzolonic activity is a general statement that refers to a chemical reaction of a puzzolonic material in alkali environment which consist of water-lime solution and the change of the result of this reaction. This mechanism is not a simple process but it includes serial process of chemical change and transformations which occurs as a result of mineralogical composition dissolution of the reaction elements. Chemical, physical, mechanical and analytical test methods are developed in order to find this modification that occurs during puzzolonic reaction. Even though number of researches are made for identifying the puzzolonic characteristics of different materials with some of these methods, overall analysis which involve all these methods are deficient in literature. In this research; only physical methods of these technics that identified puzzolonic activity, used for representing basic approaches and examples are given from several researches. Additionally, these methods are also evaluated generally.

**Keywords:** Pozzolan, pozzolanic activity, electrical conductivity, thermogravimetric analysis, isothermal calorimetry

### 1. GİRİŞ

Bir maddenin puzolanlık özelliğinin ve puzolanik aktivitesinin belirlenebilmesi için uygulanan tekniklerden bir kısmı bizzat puzolan maddenin mineralojik, kimyasal ve fiziksel gibi çeşitli özelliklerinin tespiti çalışmalarını içermekte olup bazıları da puzolan/bağlayıcı karışımının yapısal ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi çalışmalarını içermektedir.

Genel içerikleri, yaklaşımları yada hangi özellikler üzerine yönelik olursa olsun puzolanik aktivitenin tespiti amacıyla uygulanan teknikler, çalışmanın parametrelerine, amacına ve kullanılan yöntemlere bağlı olarak doğrudan veya dolaylı olmak üzere iki grupta kategorize edilmiştir [1].

Doğrudan uygulanan yöntemlerin önemli bir kısmı kimyasal içerikli testlerden oluşur Bu tekniklerin temeli, puzolan ve bağlayıcı (kireç yada çimento) karışımından hazırlanmış bir solüsyonda puzolanik

\* Corresponding author. Email address: sedat.kurugol@msgsu.edu.tr

## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

reaksiyon devam ederken, puzolandaki aktif minerallerle etkileşimi sonucunda kalsiyum hidroksit miktarında meydana gelen değişmelerin klasik kimyasal titrasyon tekniklerini kullanarak tespit edilmesi esasına dayanır [2]. Bu kapsamda uygulanan teknikler temelde “Fratini, Doygun kireç ve Chapelle aktivite indisi” olmak üzere üç şekilde uygulanır. Fratini testinde çimento/puzolan, doygun kireç ile Chapelle yönteminde ise puzolan/kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ( $\text{CH}$ )<sup>1</sup> karışımlarıyla hazırlanmış çözeltiler kullanılır. Bu testler, puzolan maddenin kendisi hakkında herhangi bir bilgi vermemekte, sadece puzolan olduğu düşünülen bir maddenin alkali ortamdaki reaksiyon derecesini yani davranış şeklini ortaya koymaktadır. Bunun yanında yine puzolan ve kireç karışımından oluşan bir solüsyonun elektriksel iletkenliğinde meydana gelen değişimlerin çeşitli sürelerle kondüktometri ile ölçümü şeklindeki yöntemler de doğrudan uygulanan fiziksel teknikleri oluşturur.

Dolaylı yöntemler ise, puzolan/CH ilişkisiyle meydana gelen puzolanik reaksiyondan sorumlu olan ve bu reaksiyonlarda etkin rol oynayan temel özelliklerin tespitine yönelik yardımcı metotları içermektedir. Bu kapsamda, puzolanik malzemenin amorf faz yapısı, reaktif minerallerin tespiti, silis ve alümin içerikleri, içeriğinde bulunan diğer maddelerin tayini ve spesifik yüzey alanı gibi fiziksel, kimyasal ve mineralojik yapıları ile ilgili çeşitli özellikler incelenmektedir. Puzolan/bağlayıcı ile hazırlanmış bir hamur yada harç örneğinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin tespiti de bu kapsamda en yaygın uygulanan teknikler arasındadır.

Puzolanik aktivitenin tespitine yönelik başvuru yöntemlerin bir gurubunu da belirtildiği gibi fiziksel teknikler kullanarak yapılan ölçümler oluşturur. Elektriksel iletkenlik ölçüm (kondüktometri) teknikleri dışında diğer fiziksel metotlar genel olarak aktivitenin tespitinde dolaylı olarak uygulanan yardımcı yöntemler olup bu kapsamda, öz direnç ölçümleri, termogravimetrik (DTA/TG/TGA) analizler, solüsyon yada izotermal kalorimetri ölçümleri yanında çeşitli spektroskopik yöntemler (FT-IR, DSC gibi) uygulanmaktadır. Bahsedilen bütün bu teknikler puzolanik aktivitenin tespitinde ya birleşik olarak yada birkaçından yararlanılarak uygulanabilmektedir. Fiziksel yöntemlerin topluca ele alındığı bu çalışmada, yöntemlerin genel içerikleri ve yaklaşımları açıklanarak, bu tekniklerden yararlanılarak yapılan karakteristik bazı örneklerden hareketle diğer teknikler arasındaki ilişkiler değerlendirilmektedir.

## 2. ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Bir çözeltilerin elektriksel iletkenliği (L), o çözeltilerin elektrik akımına gösterdiği direncin tersi ( $L=1/R$ ) olarak tanımlanır ve iletkenlik değeri üzerinde çözeltide bulunan tüm iyonik türlerinin katkısı olur. iletkenliğin birimi ise S (Siemens) veya -1 (ohm-1) şeklinde ifade edilir. Bir çözeltilerin elektriksel iletimi “Kondüktometre” cihazı ile ölçülebilir ve iletkenlik, çözeltideki iyonların yüküne, sayısına, büyüklüğüne ve aynı zamanda solüsyonun vizkozitesi gibi çeşitli özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle çözeltide meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu iyon türlerinde ve miktarında değişiklik olduğunda çözeltilerin iletkenliği de buna paralel olarak değişir. Bu durum puzolanik reaksiyon için de geçerlidir. Puzolanik reaksiyon sırasında özel şartlarda hazırlanmış kireç ve puzolan karışımından oluşan bir solüsyonunun elektriksel iletim değerinin kondüktometri ile ölçümünün faydalı metotlardan biri olduğu yapılan çeşitli araştırmalarda ifade edilmiş [3] ve yaygın uygulama alanı bulmuştur.

### 2.1 İletkenlik (Kondüktometre) Ölçümleri

Mineral katkıların puzolanik aktivitesinin belirlenmesinde elektriksel iletkenlik tekniği sistematik olarak 1975 yılında ilk kez Raask ve Bhaskar [4]’ın çalışmalarıyla ortaya konulmuş ve bu yöntemin uygulaması

<sup>1</sup> Çimento kimyasında  $\text{CaO}$ : C;  $\text{SiO}_2$ : S;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : A;  $\text{H}_2\text{O}$ : H;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : F şeklinde sembolize edilmektedir.

ile ilgili olarak bir metot önerisi geliştirmişlerdir. Bu teknikte, bir hidroflorik asit (HF) solüsyonundaki  $\text{SiF}_6^{2-}$  ve  $\text{H}^+$  iyonlarının formasyonuna bağlı olarak çözeltinin elektriksel iletim değerinin ölçümü indirekt olarak yapılmıştır. Bu yaklaşım şekli puzolanın aktif minerallerindeki çözünmüş silis (amorf silis) miktarının ölçümüne olanak sağlanmakta ve buradan da puzolanlık indisleri hesaplanmaktadır. Diğer yandan Luxan ve ark. [5] ise doğal puzolanların puzolanik reaktivitesini belirlemek için yaptıkları bir araştırma sonucunda basit ve hızlı bir tespit şekli önermişlerdir. Bu yöntem, belirli bir sıcaklıktaki puzolan/hidrate kireç karışımından oluşan solüsyonun elektriksel iletkenliğinin ölçümü temeline dayanmakta olup uygulamanın genel içeriği, doğal puzolan maddelerle kalsiyum hidroksit karışımından oluşan solüsyondaki elektriksel iletimin kısa süreli ölçümü şeklindedir. Burada, puzolanda bulunan amorf silis ile çözültide bulunan  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{OH}^-$  iyonlarının karşılıklı reaksiyonuyla çözünmez nitelikte bileşikler (CSH jeli) meydana getiren solüsyonunun elektriksel iletimindeki değişiklikler tespit edilmektedir.

Daha sonra Sugite ve ark. [6] Luxan yöntemini uygulayarak yapay bir puzolan olan kalsine edilmiş pirinç külünün puzolanik aktivitesini araştırmışlar ve pirinç külünün içeriğindeki amorf silis ile doymuş kireç/pirinç külü karışımının elektriksel iletimindeki varyasyonlar arasında çok iyi ilişkilerin bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Aktivitenin, elektriksel direnç ölçümü ile değerlendirilmesi kapsamında ise Thashiro ve ark. [7] ise puzolan katkılı bir çimento hamuru hazırlayarak bu karışım üzerinde elektriksel direnç ölçümleri yaparak elde edilen sonuçlardan hareketle bir puzolanın hızlı bir şekilde puzolanik aktivitesinin değerlendirilebileceği yönünde bir metot önerisinde bulunmuşlardır (bu test için 72 saat yeterli gelmektedir).

Bunun dışında puzolan ile CH arasındaki puzolanik reaksiyon kinetiğinin elektriksel iletim değerlerinden yola çıkararak değerlendirilmesi kapsamında yapılan çeşitli analitik modelleme çalışmaları da bulunmaktadır. Bunlardan birinde [8] puzolanik aktivitenin belirlenmesi için geliştirilen kinetik-difüzyon modelinin puzolanik aktivitenin belirlenebilmesi yönünde ekonomik, etkili ve kesin bir yöntem olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

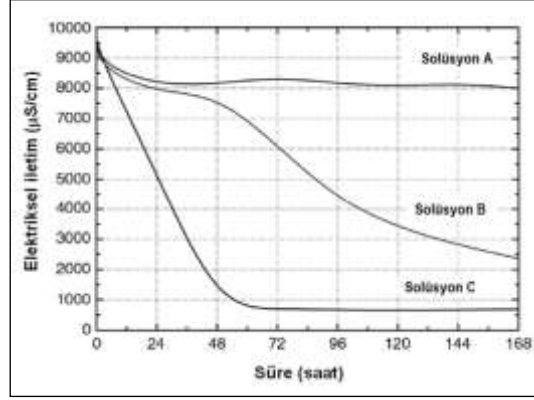
Yukarıda değinildiği gibi, elektriksel iletim yöntemi Luxan ve ark. [5] tarafından puzolanik aktiviteyi karakterize etmek için önerilmiş ve daha sonra puzolanlar üzerinde yapılan birçok çalışmada da uygulanmıştır. Bu teknikte ilkin kalsiyum hidroksit (CH) solüsyonu hazırlanarak bu çözeltinin elektriksel iletkenliği ölçülmekte, daha sonra belirli bir inceliğe (45  $\mu\text{m}$  gibi) getirilmiş puzolan bir madde çözültiyeye karıştırılarak bu solüsyonun iletkenliği tekrar ölçülmekte ve bu işlem çeşitli periyodlarla tekrarlanarak elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi yapılmaktadır.

Puzolan/CH solüsyonunun elektriksel iletkenliği ilk dakikalar içerisinde değişmektedir. Ölçümler genellikle 0,5-1 dakikadan bir saate kadar yapılabilmekle [9] beraber, 48/60 saat [10] ve hatta 3,7, 28 gün gibi daha uzun süreli ölçümlerin yapıldığı çalışmalar da [11] bulunmaktadır. Her iki ölçüm sonunda elektriksel iletkenlik değerleri arasındaki farkın 0,4 mS/cm'den büyük olması o maddenin puzolanlık özelliği taşıdığına, 1,2 mS/cm'den büyük olması ise iyi bir puzolanik özellik gösterdiğine işaret etmektedir [12, 13].

Şekil 1, değişik puzolanik özelliklere sahip üç farklı maddenin CH solüsyonu içinde elektriksel iletimindeki davranışlarını karakterize etmektedir. Grafikte gösterilen "A" örneğinin eğrisi, az puzolanik reaktiviteye sahip bir madde ile hazırlanmış solüsyondaki elektriksel iletimin tipik örneğini yansıtmaktadır. "B" örneği, testin ilk saatlerinde doymuş olmayan bir çözeltideki puzolanik maddenin davranışını yansıtan tipik eğriyi göstermektedir. Bununla birlikte, puzolan reaksiyonunun zamanla ilerlemesiyle, daha uzun sürelerde kalsiyum hidroksitin harcanmasına bağlı olarak ortamın elektriksel iletkenliği değerlerine bir azalma da gözlemlenebilir.

## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

Üçüncü olarak, "C" ile temsil edilen eğri, testin ilk saat içinde kalsiyum hidroksitin çok hızlı tüketimine bağlı olarak solüsyonun elektrik iletkenliği değerlerinde ve dolayısıyla ortamdaki pH seviyesindeki azalmayı yansıtmaktadır. Bu davranış şekli, az kalsiyum hidroksit içeren solüsyonların ve yüksek aktiviteye sahip puzolanik maddelerin genel özelliğidir [14].



Şekil 1 Çeşitli puzolanların 7 günlük test sonrası elde edilmiş elektriksel iletimindeki değişimler [14]

Solüsyonun elektriksel iletim özelliği üzerinde puzolanın kimyasal kompozisyonunda bulunan reaktif yapıdaki minerallerin miktarı ve puzolanın inceliği de katkıda bulunmaktadır. Bir tür zeolitin (Clinoptilolite) puzolanik aktivitesini değerlendirme kapsamında yapılan bu yöndeki bir araştırmada [15], zeolitle diğer bazı puzolanların puzolanik özellikleri çeşitli test yöntemleri ile karşılaştırılmış ve hazırlanan puzolan/CH karışımının 4 saatlik elektriksel iletim ölçüm verileri ile puzolanik aktivite özelliklerinin birbirleriyle uyumlu olduğu, zeolitin kireçle ilişkisiyle reaksiyonun ilk dakikalarında meydana gelen puzolanik reaksiyonunun, diğer puzolanlara göre daha fazla olduğu, bu durumun da reaktif yapıdaki SiO<sub>2</sub> miktarının ve puzolanın özgül yüzey alanının fazlalığından kaynaklandığı gösterilmiştir. Bununla beraber söz konusu puzolanlarla üretilmiş puzolan/CH hamurunun elektriksel iletim ölçüm verileri ile mekanik özellikleri arasında ise tam bir ilişki kurulamamıştır.

Kondüktometri yöntemi ile kimyasal test teknikleri arasındaki ilişkiler çeşitli çalışmalarda inceleme konusu olmuştur. Örneğin beş farklı kil (kaolen) ve iki tür bentonit malzemenin dört farklı aktivite test yöntemi ile (*Fratini*, *Doygun kireç*, *Puzolanik Aktivite İndisi* ve *Elektriksel İletim*), puzolanik özelliklerini değerlendirmek için Araceli ve ekibinin [16] yaptıkları araştırmada, doygun kireç yöntemi ile 1 günlük elektriksel iletim ölçüm değerleri arasında lineer bir ilişkinin bulunduğu, aynı ilişkinin 7 günlük doygun kireç yöntemi ile 24 saatlik elektriksel iletim yöntemi ölçüm sonuçları arasında da söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında elektriksel iletim ile mekanik aktivite indisi arasında ise yeterli ve doyurucu bir ilişkinin kurulamadığı, buna neden olarak da mekanik dayanım üzerinde puzolanik reaksiyon sırasında meydana gelen kalsiyum silikat hidrat (CSH) gibi ürünlerin morfolojisi ile porozite özelliklerinin belirleyici bir rol oynadığı açıklanmıştır.

Dolayısıyla puzolanik aktivitenin tespiti için uygulanan elektriksel iletim ölçümü ile diğer test yöntemleri arasında, özellikle de mekanik testlerde, yer yer bu türlü uyumsuzluklar gözlenebilir. Çünkü çalışmalarda elektriksel iletim ölçümleri genellikle kısa süreli olarak yapılmakta, puzolan katkılı sistemin mekanik dayanımı ise ileriki yaşlarda gelişme eğilimi göstermektedir. Bu davranışa göre reaksiyon süreci açısından bu iki yöntem arasında ters bir ilişki var gibi gözükmektedir. Buna ek olarak puzolanların çok değişken olan kimyasal ve mineralojik özellikleri ve bununla ilişkili olarak sertleşmiş



## KURUGÖL

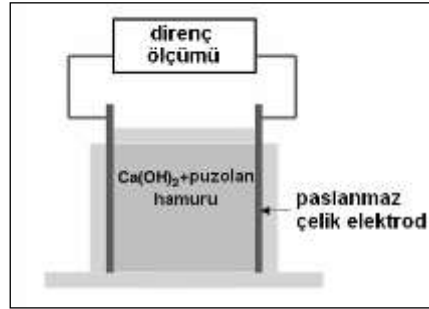
sistemlerdeki puzolanik reaksiyonun gelişme sürelerinin farklılıklar göstermesi ile reaksiyonla oluşan yeni fazların morfolojik özellikleri de burada etkili roller oynayabilmektedir.

Bu test yöntemi ile ilgili bazı özel durumlar solüsyonun elektriksel iletim değerini de etkileyebilir. Bunların başında, özellikle de doğal puzolanların mineralojik yapılarında bulunabilecek çeşitli çözünebilir nitelikteki tuzlar gelir. Su içinde bu tuzlar iyonlaşarak çözeltiye geçer ve solüsyonun iletkenlik değerlerini de değiştirir. Sisteme puzolan ilave edildiğinde çözeltinin elektriksel iletkenliği, maddede bulunabilecek sülfatlar, alkali halidler ve alkali toprak halitler gibi çözünebilir tuzlar nedeniyle, artışlar gösterebilir ve bu durum elde edilmiş sonuçları etkiler [17]. Bu nedenle, öncelikle puzolan bir maddede bu gibi çözünebilir tuzların bulunup bulunmadığının da tespit edilmesi gerekir.

### 2.2. Elektriksel Öz direnç Ölçümleri

Elektriksel ölçüm yönteminin diğer bir uygulama şekli de elektriksel öz direnç ölçümü ile yapılan tekniklerdir. Fizikten bilindiği üzere elektriksel iletkenliğin tersi dirençtir. Direnç ( $R$ ), elektriğin iletimine karşı koyma yeteneği olarak tanımlanırsa; iletkenlik de, elektriği geçirme yeteneği olarak tanımlanabilir.

Bu yöntem genellikle uygun boyutsal özellikte hazırlanmış puzolan ve kireç (CH) hamurunun iki yüzeyi arasındaki uzaklıktan elektrotla yapılan direnç ölçümlerinden oluşur (Şekil 2). Burada, belirli karışım oranlarında distile su, CH ve puzolan maddeden hazırlanmış bir örneğin, belirli sabit bir frekans altında çeşitli süreler boyunca elektriksel dirençleri ölçülmekte ve elde edilen değerlerden hareketle maddenin puzolanik özelliği değerlendirilmektedir.



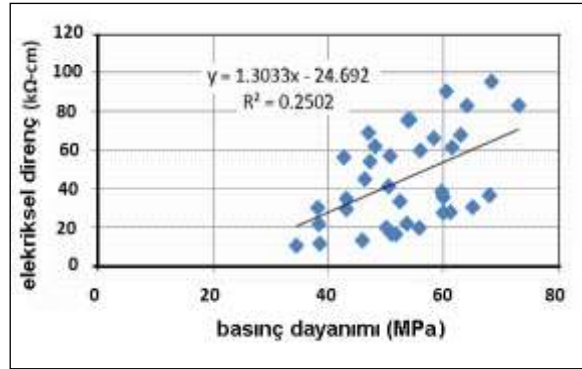
Şekil 2. Elektriksel direnç ölçüm tekniğinin şematik gösterimi [18].

Elektriksel öz direnç metodunu kullanarak çeşitli puzolanların (metakaolin, mikro silis ve pulverize uçucu kül) puzolanik aktivitesini belirlemek için McCarter ve ekibinin yaptıkları çalışmada [5], sabit 5 kHz alternatif akım altında çeşitli periyotlarda 48 saat süresince elektriksel direnç ölçümleri yapılarak, iletimdeki değişimler gözlenmiştir. Bu tespitler sonucunda, yüksek direncin az bir portlandit (CH) tüketimine tekabül ettiği ve dolayısıyla elektriksel direnç ölçüm yönteminin hem puzolan/CH karışımların hem de çimento bağlayıcılı karışımların puzolanik reaksiyonunu takip etmek için elverişli bir teknik sunduğunu ifade edilmiştir. Ayrıca, bu testlerin sonuçlarını kimyasal bir metot olan Chapelle aktivite testinden (puzolan/CH solüsyonundan) elde edilen puzolanik reaktivite değerleri ile karşılaştırarak aralarındaki ilişkileri de araştırılmış, fakat bu iki yöntem arasında uygun bir korelasyon kurmanın zor olduğu ileri sürülmüştür. Bu tespitlere göre elektriksel direnç ölçüm verileri ile puzolanik aktivitenin belirlenmesinde uygulanan kimyasal içerikli (Chapelle) test sonuçları arasında, her zaman geçerli bir korelasyonun kurulamadığı görülmektedir.

## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

Puzolanik aktivite ile sistemin direnç ölçümleri arasındaki ilişkiler başka çalışmalarda da irdelenmiştir. Uçucu kül, silis dumanı, kaolin, asidik kil, zeolit ve aktive edilmiş kuvars gibi çeşitli puzolan maddeler üzerinde yapılan bu yöndeki bir araştırmada ise [19], kimyasal bir metod olan kalsiyum hidroksit tüketimi ile elektriksel öz direnç ölçümü birleşik yönteminin, puzolanik aktivitenin hızlı bir şekilde belirlenebilmesinde yararlı teknik sunduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma elde edilen tespitlerle yukarıda belirtilen [5], direnç ölçümü ile Chapelle testi ile arasında doğru bir ilişki kurmanın zor olduğu yönündeki araştırmanın sonuçları dikkate alındığında, belki reaksiyonun erken sürelerinde böyle bir ilişkinin varolabileceği ancak ileriki yaşlarda bu ilişkilerin tam olarak kurulamadığı görülmektedir.

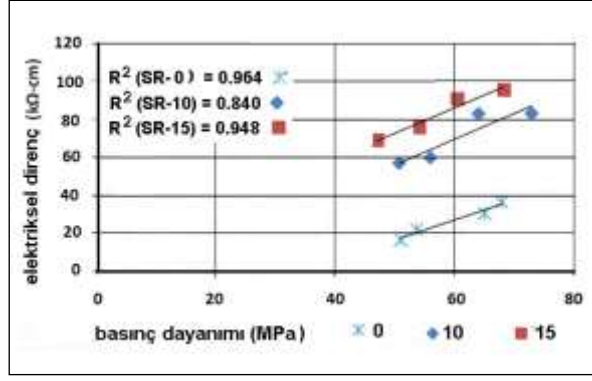
Elektriksel öz direnç ölçüm tekniği aynı zamanda puzolan/portland çimento ile üretilmiş kompozit malzemelere de uygulanmıştır. Betonda zeolitın puzolan olarak kullanımına ilişkin yapılan bir diğer araştırmada [20], değişik karışım oranlarındaki zeolit katkısının, çeşitli yaşlardaki beton örneklerin mekanik ve fiziksel özellikleri ile durabilitesi üzerindeki etkileri araştırılmış ve ayrıca örneklerin elektriksel direnç ölçümleri de yapılarak aralarındaki ilişkiler birleşik olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları çeşitli yaşlarda ve farklı oranlardaki (%0, %10, %15) zeolit katkılı tüm beton örneklerin elektriksel direnç ölçüm verileri ile basınç dayanım değerleri arasında anlamlı bir korelasyonun ( $R^2=0,250$ ) kurulamadığını ortaya koymuştur (Şekil 3).



**Şekil 3** Değişik yaşlarda ve farklı karışım oranlarında zeolit katkısı ile hazırlanan tüm beton örneklerin elektriksel direnç ölçüm değerleri ile basınç dayanımı arasındaki korelasyonun çok düşük olduğu ( $R^2=0,2502$ ) görülmektedir [20].

Bununla birlikte aynı örneklerin 270 gün sonra yapılan aynı test ölçümlerinde ise söz konusu özellikler arasındaki korelasyonların ( $R^2=0,964$  (%0),  $R^2=0,840$  (%10),  $R^2=0,948$  (%15)) daha iyi kurulabildiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Benzer sonuçlar aynı araştırmacıların bir başka çalışmalarında da gösterilmiştir [21].

## KURUGÖL



**Şekil 4** Farklı oranlardaki zeolit katkılı beton örneklerin 270 gün sonraki basınç dayanımı ile elektriksel direnç ölçüm değerleri arasında doğrusal regresyonla araştırılan korelasyon katsayıları [20].

Bu tespitlere göre de, çimento bağlayıcılı ve puzolan (zeolit) katkılı kompozitlerin erken yaşlara göre daha ileriki yaşlardaki elektriksel direnç ölçüm sonuçları ile mekanik yöntemle tespit edilen puzolanik aktivite özellikleri arasında belirli bir güvenilirlikle daha anlamlı bir ilişkinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu durum aynı zamanda doğal puzolanın puzolanik aktivitesinin daha uzun sürelerde gelişme eğilimi içinde olduğunu da ortaya koymaktadır.

Puzolan (kalsine edilmiş pirinç kapçığı külü)/CH hamurunun puzolanik aktivitesini değerlendirmek için her iki elektriksel ölçüm tekniğinin (iletkenlik ve öz direnç) birlikte uygulandığı Wansom ve ekibinin yaptıkları çalışmada ise [9], erken yaşlarda puzolanik aktiviteyi değerlendirmek için Luxan metodunun [5], ileriki yaşlarda da McCarter [11] tekniğinin daha elverişli bir yaklaşım şekli sunduğu belirtilerek, bu yöntemlerin yapay puzolanın puzolanik aktivitesini tespitinde de işe yaradığı gösterilmiştir. Ayrıca kısa süreli yapılan elektriksel ölçümler ile mekanik yolla elde edilen aktivite indisleri arasında da iyi bir ilişkinin bulunduğu, ancak daha uzun süreli ölçümlerde ise bu korelasyonun azaldığı belirtilerek, her iki elektriksel ölçümlerden çıkarılmış faktörler ile mekanik puzolanik aktivite indisleri ile arasında ise tüm yaşlarda daha güçlü bir korelasyon kurulabileceği ileri sürülmüştür.

Elektriksel direnç ölçüm tekniği ile kimyasal testler arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde genellikle az CH tüketiminin yüksek dirence ve fazla CH tüketiminin de az dirence karşılık geldiği ifade edilmektedir [5]. Fakat bu bağlantının, puzolanların doğası ve puzolanik reaksiyon süresi için içine girdiğinde her zaman geçerli olamayacağı yapılan araştırmaların sonuçlarından da anlaşılmaktadır.

Puzolanik aktivitenin tespitinde uygulanan elektriksel iletkenlik ve direnç ölçüm yöntemleri ile diğer testler arasında yer yer gözlenen yetersiz korelasyon, yukarıda ifade edildiği gibi genel olarak doğal ve yapay puzolanların birbirinden farklı olan yapısal, mineralojik ve fiziksel özellikleri yanı sıra, bununla ilişkili olarak yapılan testlerin ortam ve uygulanan tekniklerin değişkenliği ile testlerin farklı özellikler üzerine yönelik olması ve ayrıca CH ile ilişkisi sonucu meydana gelen puzolanik reaksiyonun gelişim sürelerinin de puzolan tipine göre farklılıklar göstermesinden ileri geldiği düşünülebilir.

### 3. TERMAL ANALİZLER (DTA/TGA/TG)

Fiziksel yöntemler kapsamında uygulanan termogravimetri (DTA/TG/TGA) analizleri yardımıyla da puzolanik aktivite değerlendirilebilmektedir. Bu analiz metotları malzemenin niteliklerini saptamak ve termal davranışını belirlemek için elverişli bir metot olup aynı zamanda içeriğinde bulunan diğer minerallerin davranışı hakkında aydınlatıcı bilgiler de verebilmektedir. Puzolan/CH reaksiyonuyla meydana gelen hidratasyon ürünlerinin tespitinde de aynı durum geçerlidir.

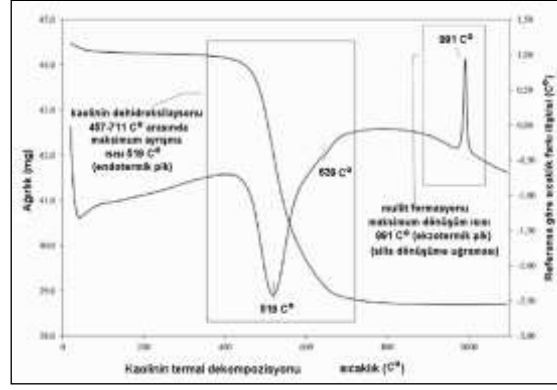
## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

Termal analizler, örneğin sıcaklığı kontrollü bir şekilde değiştirilirken numunenin herhangi bir fiziksel özelliğinin (ağırlık, absorplanan ya da açığa çıkan ısının, boyut, iletkenlik, özellik v.s gibi) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü yöntemleri içermekte olup, bu kapsamda kütle kaybı, nem miktarı, oksidasyon, dehidratasyon ve kristal faz formasyonları gibi malzemenin ısı etkisi karşısındaki çeşitli davranışları analiz edilebilmektedir. Özellikle puzolanik reaksiyon sonucu meydana gelen hidratasyon ürünlerinin tespitinde tercihen başvurulacak bir analiz tekniğidir. Bu analizlerden termogravimetri (TGA) ile numune kütlelerinin, numune sıcaklığına ya da zamana göre ölçümü yapılarak elde edilen termogramlarda istenilen zaman ve sıcaklık aralıklarındaki mg veya % olarak kütle kayıpları, yarı ömür sıcaklıkları tespit edilebilmektedir. Diferansiyel termal analizde ise (DTA) bir numune diğer standart başka bir numune aynı anda ısıtılarak veya soğutulurken arada oluşan sıcaklık değişimi sıcaklığa veya zamana bağlı olarak bir diyagrama dökülüp, ısı alan (endotermik) ve ısı veren (ekzotermik) bölgelerin çeşitli amaçlar doğrultusunda analizi yapılabilmektedir. Bu tespitler numunenin iç yapı kompozisyonu açısından parmak izi niteliği taşıyabildiğinden, DTA diyagramları, reaksiyon ürünlerinin dekompozisyon sıcaklıkları, kristalin faz değişimleri ile kimyasal dönüşümleri hakkında da aydınlatıcı bilgiler sunmaktadır

Son yıllarda puzolanlar üzerine yapılan birçok araştırmada bu analiz tekniklerinin kullanımı oldukça yaygınlık kazanmış ve termal analiz sonuçlarıyla diğer özellikler arasındaki ilişkiler de incelenmiştir. Örneğin kireç bağlayıcısı ile doğal ve yapay puzolanlarla hazırlanmış harç örneklerin puzolanik karakteristiklerini termogravimetrik analizle tespitine yönelik olarak yapılmış bu yöndeki bir araştırmada [22]; değişik sıcaklık aralıklarındaki diferansiyel termal analizinin (DTA) endotermik ve ekzotermik pikleri (TG ile de kimyasal kompozisyonundaki ağırlık kayıpları ve ayrışmalar) değerlendirilmiş ve malzemenin puzolanik özelliğinin ve hidratasyon sonrası oluşan ürünlerin formasyonlarını tespitinde bu yöntemin yararlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Ayrıca, DTA/TG analiz sonuçları ile 1, 3 ve 6 aylık sürelerdeki XRD ve mekanik dayanım değerleri arasında uyumlu ilişkilerin olduğu, aynı zamanda bu ilişkilerin kalsiyum hidroksit tüketimi, mekanik özellik ve puzolanik reaksiyonla oluşan fazlar arasında da bulunduğu ifade edilmiştir.

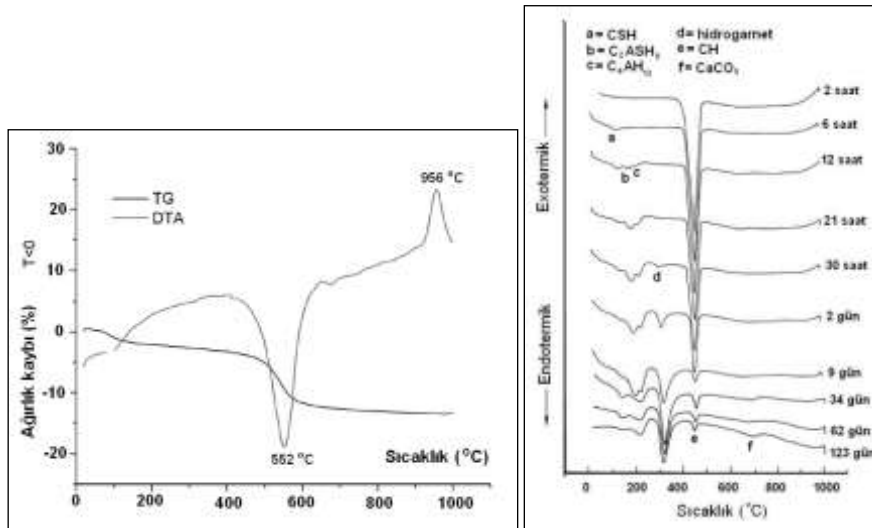
Termal analizlerle, aynı zamanda bizzat bir puzolanın sıcaklıklara göre iç yapı strüktüründe meydana gelen madde kaybı ve/veya faz dönüşüm bölgeleri tespit edilerek, o maddenin puzolanik karakteristiği de değerlendirilebilir. Bu yönde Trusilewicz ve ark. larının [23] yaptıkları çalışmada metakaolinin, iç yapı strüktürü ile puzolanik aktivite üzerindeki ilişkisi için birleşik olarak TEM, XRD, termal analiz (TG/DTA) ve kimyasal test yöntemlerinden yararlanılarak kaolinin, metakaolin ile mullit faz haline dönüşüm bölgeleri TG ile DTA termogramlarında gösterilmiş ve bunlar diğer yöntemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Kaolinin, puzolanik özellik taşıyan metakaolin haline dönüşüm bölgesinin 457-711 °C'ler arasında olduğu, metakaolinin *mullit* fazına dönüşmesinin ise yaklaşık 990 °C'ler civarında gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 5). İyi bir puzolanik aktiviteye sahip olan metakaolinin, kararlı iç yapısı nedeniyle puzolanik özellik üzerinde olumsuz bir etki yapan *mullit* kristalleri haline dönüşümü bu şekilde termal analizle de belirlenebilmektedir. Mullitin puzolanik aktivite üzerindeki bu olumsuz etkisi başka çalışmalarda da gösterilmiştir. Bu araştırmalarda kaolinitin, metakaolin haline dönüşümünün yaklaşık 450 - 750 °C'ler arasında gerçekleştiği, genellikle de optimum kalsinasyon sıcaklığının 650 °C ve süresinin de 90 dakika şeklinde olmasının metakaolin haline dönüşmesinde yeterli gelebileceği belirtilmektedir. [24, 25]

## KURUGÖL



**Şekil 5.** Kaolin tipi kilin termal işleme iç yapısında meydana gelen faz dönüşümlerinin TG/DTA ile tespiti. Termogramlarda tanımlanan bölgelerden hareketle kaolinin puzolanik aktivitesi değerlendirilebilmektedir [23].

Ayrıca kaolinit tipi killerin kristal yapısına ve saflığına bağlı olarak kalsinasyon işleminin 650-800 °C'ler arasında yapılmasının uygun olduğu bir diğer araştırmada ifade edilmiştir. [26] Kalsinasyon işlemine devam edildiğinde ise metakaolin mullit ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) kristalleri şekline dönüşür ve bu faz dönüşümü de 950 °C'lerden sonra meydana gelir [27] (Şekil 6). Yüksek sıcaklıklarda oluşan mullit yanında kristobalit, spinell gibi kararlı mineraller puzolanik özelliğin kaybolmasına neden olan kristalleşmiş bileşiklerdir. [28] Puzolanlarda olduğu gibi puzolanik reaksiyonla şekillenen hidrate fazların tespitinde de termal yöntemler işe yaramaktadır. (Şekil 7'de metakaolin/kireç hamurlarının süreye bağlı olarak reaksiyon fazlarında meydana gelen değişikliklerin DTA termogramlarını göstermektedir. DTA endotermik pikleri, zamanla reaksiyon ürünleri olan hidrate kalsiyum alümina silikat ( $C_2ASH_8$ ), hidrate kalsiyum alüminat ( $C_4AH_{13}$ ) ve kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) fazlarında meydana gelen artışları, kalsiyum hidroksit (CH) miktarında da azalmaları ifade etmektedir. [29]



**Şekil 6.** Termogrovemetrik (DTA/TG) analizle kaolinitin termal davranışının gösterimi [25]

**Şekil 7.** 60 °C'de kürlenmiş metakaolin/kireç hamurlarında süreye bağlı olarak meydana gelen hidrate fazların endotermik DTA termogramlarında gösterimi [29]

## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

Yakılmış pirinç kapçığı külünün termal davranışı ile puzolanik aktivite indisi arasındaki ilişkilerin ele alınarak değerlendirildiği bir diğer çalışmada da [30], külden bulunan kristalin yapıdaki silisin, TGA ve DTA analizinin 650 ile 850 °C'ler arasındaki endotermik pik aralığında amorf yapıda silis haline dönüştüğü ve külün termal işlem sırasında oluşan amorf karakterdeki bu silis miktarı ile çimento bağlayıcısı kullanılarak hazırlanmış örneklerin puzolanik aktivite indisi arasında destekleyici yönde ilişkilerin bulunduğu ortaya konulmuştur.

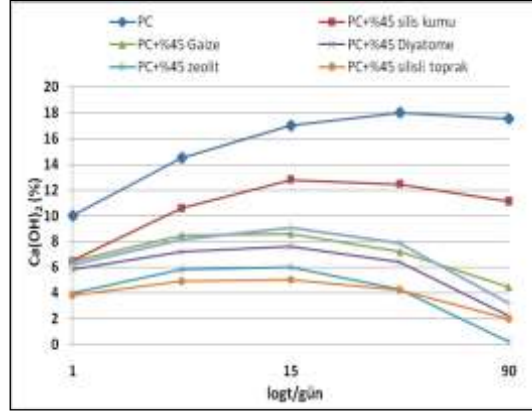
Dolayısıyla bu tespitler termal analizlerin, dolaylı bir metod sunmakla birlikte, hem bir puzolanın iç yapı strüktüründe bulunan minerallerini faz dönüşümlerinin, hem de puzolanlarla hazırlanmış sistemlerde reaksiyonla meydana gelen hidrate fazların tanımlanması ve değerlendirilmesinde güvenilir birer yardımcı teknik olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Diğer yandanyapılan başka bir çalışmada ise [31] dört farklı doğal puzolanın puzolanik aktivitesi ve puzolanik aktivite test yöntemleri incelenirken, puzolan ve kireç kombinasyonun kararlı bir iç yapı özelliği taşımasından dolayı puzolanik aktivite için kimyasal ölçüm teknikleriyle termal analizler arasında tam bir ilişkinin kurulamayacağı ve burada doğru kararlar için bir ölçüt bulunmadığı, dolayısıyla termogravimetrik metodun sıcaklığı işin içine dâhil ederek meselenin esası için elverişli bir yöntem sunmadığı şeklinde bir görüş ileri sürülmüştür. Benzer yöndeki görüşler yapılan başka çalışmalarda da [32], [33], [34] ifade edilmiştir. Termal yöntemlerle kimyasal içerikli testler arasında, yöntemlerin yönelik oldukları özellikler nedeniyle belki böyle bir ilişki kurulamayabilir, fakat, yukarıda genel içerikleri verilmiş bazı çalışmalardan [22, 29, 30] elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere, termal analizlerin, özellikle reaksiyon sonucu meydana gelen hidrate ürünlerin tespitinde faydalı bir teknik sunduğu, dolayısıyla bu durumun meydana gelebilmesi için kimyasal bir reaksiyonun gerçekleşmiş olmasının gerektiği de ortadadır.

Buna bir başka örnek olarak Paya ve ekibinin [35], termogravimetrik (DTA, TG), spektroskopik (FT-IR), mikroskopik (SEM) ve kimyasal tekniklerini birleşik olarak kullanıp metakaolin ve katalitik atıkların puzolanik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, erken yaşta katalitik atıkların metakaolinden daha fazla puzolanik reaktiviteye sahip olduğu ve bu maddelerle üretilen çimento bağlayıcılı harç örneklerde puzolanik reaksiyonla iç yapıda meydana gelen *gehlenit* hidrat (kalsiyum alümina silikat hidrat,  $C_2ASH_8$ ), kalsiyum silikat hidrat (CSH) ve kalsiyum alümina hidrat (CAH) fazlarının oluşum bölgeleri termal analizlerle tespit edilmiş ve bu tespitlerin her iki puzolanın kimyasal tekniklerle belirlenen, fiks edilmiş kalsiyum hidroksit tüketimi oranlarıyla karşılaştırıldığında, birbirlerini destekleyici ilişkiler içerisinde oldukları sonucuna varılmıştır. Reaktivitenin değerlendirilmesinde termogravimetriden ve ileri analitik tekniklerden yararlanmanın çok faydalı yöntemler sundukları bu araştırmanın sonucunda ileri sürülmüştür.

Çimento bağlayıcısı ile çeşitli doğal ve yapay puzolan maddeler (gaize, uçucu kül, zeolit, silis kumu, diyatome ve silisli toprak) kullanılarak hazırlanmış harç hamurları üzerinde çeşitli periyotlarla (1, 3, 7, 28 ve 90 günlük) DTA/TG analizlerinin yapıldığı bir çalışmadan elde edilen sonuçlar, ASTM C 593-56 standardında belirtilen, puzolanik aktivitenin analitik olarak değerlendirilmesi için önerilmiş yöntem arasında çok iyi korelasyonlar bulunduğu göstermiştir [36]. Bu tespitler doğrultusunda, çeşitli puzolan katkılı çimento hamurlarında puzolanik reaksiyonu kanıtlamak için DTA/TG ölçümlerinin yeterli geleceği ileri sürülmüştür. Bahdedilen periyotlarla puzolan katkılı ve katkısız çimento bağlayıcılı örneklerin DTA/TG analizlerinden elde edilen sonuçların zamanın fonksiyonuna göre grafiksel olarak gösterimi de Şekil 8'te verilmiştir. Burada, analizler sırasında uygulanan sıcaklık etkisiyle süreye bağlı olarak CH miktarındaki azalma oranları puzolanik aktivitenin gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Puzolan katkısız örnekte (PC) ise aksine CH miktarında bu türlü bir azalmanın meydana geldiği görülmemektedir.

## KURUGÖL



**Şekil 8.** Puzolanik reaksiyon sonucu çeşitli puzolanların süreye bağlı olarak termal analizle belirlenmiş CH miktarındaki azalmaların karşılaştırılması. Puzolanların reaktiflik derecelerine göre CH miktarındaki azalma oranları farklı olmakla birlikte, eğrilerin genel davranışı benzerlik göstermektedir [36].

Benzer durum diğer puzolanlar içinde söz konusu olup, ham ve çeşitli sıcaklık aralıklarında kalsine edilmiş İllit tipi kilin kalsinasyona bağlı olarak puzolanik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin araştırıldığı bir çalışmada [37], DTA, TG ve XRD yöntemleri ile çimento bağlayıcısı ile üretilmiş harç örneklerin çeşitli periyotlarda yapılan mekanik test sonuçları karşılaştırılmıştır. Testler neticesinde ham illitin puzolanik aktivitesinin bulunmadığı, ancak artan sıcaklık etkisine göre 790 C°'den sonra mineralojik yapısında meydana gelen faz değişimine göre puzolanik aktivitesinin nispeten de arttığı ve illitle hazırlanmış örneklerin basınç testi sonucunda elde edilen değerlerin, termal analizlerle tespit edilen yapısal değişikliklerle de uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, bizzat puzolan bir maddenin DTA/TG analizleriyle faz dönüşüm bölgeleri tespit edilerek puzolanlık karakteristiğinin dolaylı yünden de ortaya konulabileceğini ve bunun mekanik yolla tespit edilen sonuçlarla da desteklendiğini göstermektedir.

#### 4. KALORİMETRİK TEKNİKLER (SOLÜSYON ve İZOTERMAL KALORİMETRİ, DSC)

Aktivite üzerinde yapılan bir diğer fiziksel analiz yöntemi de kalorimetrik ölçüm teknikleridir. Genelde adiyabatik, yarı adiyabatik, izotermal ve solüsyon kalorimetrisi olmak üzere dört tür kalorimetri ölçümü mevcuttur. Burada bağlayıcının hidrasyon ve puzolan/CH karışımının kimyasal reaksiyonu sonucu ortaya çıkan ısı miktarının tespitinde uygulanan teknikler solüsyon ve izotermal kalorimetri ölçümü olmak üzere genelde iki türdür. Bunun yanında taramalı difrensiyel kalorimetri (DSC) tekniği de kullanılmaktadır. Solüsyon kalorimetrisi hidrasyon ısısının uzun süreli ölçümü ve malzemedeki etkin bileşenlerin (SiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, CaO gibi) hızlı bir şekilde belirlenebilmesi için uygun bir yöntem olup, diğer izotermal kalorimetri metodu ise başlangıçtaki hidrasyon proseslerini araştırmada uygulanan yardımcı bir tekniktir. Çözelti kalorimetrisi yoluyla hidrasyon ısının belirlenmesi, TS EN 196-8'de [38] tarif edilen yöntemle dayalı olarak yapılır. Bağlayıcı yada bağlayıcı/puzolan sisteminde ekzotermik yada endotermik reaksiyonlar, ortamın ve sistemin ölçümleri arasında ısı farkı olduğu zaman meydana gelmektedir. Bu nedenle reaksiyon ısısı, bir bağıntı ile yani, zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklık farkının integrali ile hesaplanabilmektedir [39].

Çimento, kireç ve harç gibi malzemelerin hidrasyon reaksiyonu nispeten hızlı ve kısa süreli olduğundan burada kalorimetrisinin kullanımı anlamlı olabilir. Tersine olarak, puzolan katkı çimento, kireç (CaO) yada hidrate kireç (CH) gibi bağlayıcılarda meydana gelen puzolanik reaksiyon ise daha yavaş olup günler, aylar hatta bazı durumlarda bir yıl gibi uzun sürebilir. Hidrasyonun gelişim

## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

aşamaları, iyonlar aracılığı ile gerçekleşen bir difüzyon fazının varlığını gösterdiğinden kondüktometrik ölçümlerde olduğu gibi, kalorimetrik ölçümler yine de bir tespit yolu sunabilmektedir. Bu amaçla ister bir asit içindeki puzolan eriyiğın ısısını yada ister iletimin kalorimetri ile yapılan ölçüm yöntemleri şeklinde olsun, kalorimetrik ölçüm tekniğı kullanışlı ve basit sonuçlar verebilmektedirler. Kalorimetrik ölçüm tekniğine, çimentonun ve alit ( $C_3S$ ) gibi çimento fazları [40] yanında metakaolin [41] [42] gibi bazı reaktif puzolanların hidrate karışımlarında meydana gelen reaksiyonlarını aydınlatmak için çeşitli çalışmalarda başvurulmuştur.

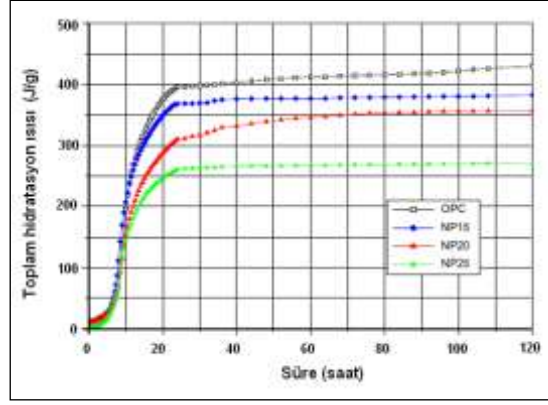
Bununla birlikte puzolanik reaksiyon zamanla gelişen bir aksiyon olup düşük ısı miktarı içerdiğinden izotermal kalorimetri ile puzolanik gelişimin mekanizmasını takip etmenin zor olduğu literatürde de ifade edilmekle beraber [43] kalorimetrik yöntemler portland çimentonun hidrolitik, uçucu küllerin ise puzolanik aktivitesini ve cürufun potansiyel hidrolitik özelliklerini tespit etmek için bazı araştırmacılar [44, 45] tarafından da kullanılmıştır. Burada puzolanik reaksiyonların, portland çimentosu ile mineral katkılı çimento bağlayıcılı sistemler arasındaki hidrasyon ısıları arasındaki farkların gözlenmesiyle de değerlendirilebileceğı belirtilmektedir.

Örneğın, izotermal kalorimetri ve termogravimetri (DTA/TGA) yöntemlerini kullanarak granüle cüruf, uçucu kül ve silis dumanı gibi çeşitli mineral katkılı, çimento bağlayıcılı harç hamurlardaki hidrasyon ısısı değişimleri Ivindra ve Hansen'ın [46] çalışmalarında inceleme konusu olmuştur. Burada mineral katkılarının etkilerine bağlı olarak, düşük ve yüksek su/bağlayıcı oranlarına sahip karışımların hidrasyon ısısında az miktarda farklar bulunabileceğı, fakat genel eğilimin birbirine benzediğı, tüm ölçüm periyotlarında, uçucu kül içeren hamurlardaki ısı gelişiminin çimento hamurlarındakinden daha düşük olduğu, granüle fırın cürufu içeren hamurların ise başlangıçta yüksek ısı üretmemelerine rağmen ileriki yaşlarda, çimento hamurlarına göre daha fazla ısı ürettikleri, bu farkın da cürufun puzolanik reaksiyonuna bağlı olabileceğı belirtilerek, silis dumanı içeren hamurların cüruf tozu içeren karışımlara göre, aynı erken yaşlarda sergiledikleri bu davranışın da aynı şekilde puzolanik reaksiyonlardan kaynaklandığı görüşü ileri sürülmüştür. Benzer puzolanlar kullanılarak yapılan bir diğer araştırmada [47] portland çimentosuna puzolanik maddeler katıldığında hidrasyon ısı ölçümü için, hidrasyonun ilk günleri için izotermal kalorimetri yönteminin, hidrate örneklerin ileriki yaşlardaki hidrasyonu için de solüsyon kalorimetrisi ölçümlerinden faydalanmanın daha uygun olabileceğı yapılmış deneysel çalışmaların sonuçlarında önerilmiştir.

Çeşitli doğal zeolitlerle kalsiyum hidroksit arasındaki puzolanik reaksiyonun incelendiğı bir diğer çalışmada [43] izotermal kalorimetri yönteminden de yararlanılmış ve hazırlanmış örneklerdeki reaksiyon mekanizmaları erken yaşta (ilk üç günlük) termogravimetri (TG/DTG) ve XRD yöntemiyle eş zamanlı olarak birlikte değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonucunda zeolitik puzolanların hidrasyonun ilk zamanlarında, CH/puzolan reaksiyonu sırasında ortaya çıkan ısı miktarını azalttığı gösterilmiştir. Benzer yöndeki bir diğer araştırmada da reaksiyonun ilk yaşlarında izotermal kalorimetre ölçümlerinin puzolanik reaksiyon derecesini belirlemek için iyi bir yöntem sunduğı ifade edilerek, doğal puzolanların (NP; zeolit) çimento matrisine her katkı oranında (%15, 20, 25) hidrasyon ısısı üzerine azaltıcı yönde bir etki yaptığı gösterilmiştir. (Şekil 9) [48]

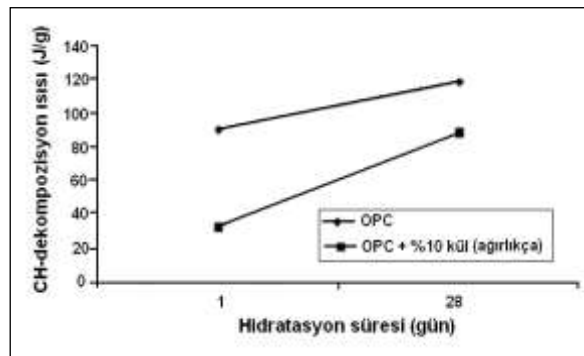


## KURUGÖL



Şekil 9. Karışım oranlarına göre (%15, 20 ve 25) toplam hidrasyon ısı gelişiminde doğal zeolitlerin etkisi.

Aslında termal bir analiz yöntemi olan DSC (Differential Scanning Calorimetry) yöntemi de, aktivite kapsamında yararlanılan metotlardan biridir. Burada DTA'ya benzer şekilde, ısıtılan veya soğutulan bir numune ve referans maddesine aynı sıcaklık programı uygulanırken, örnekte bir değişiklik olması halinde, örneğe veya referansa bir elektrik devre yardımıyla dışarıdan ısı eklenerek her ikisinin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanmakta ve numunede ortaya çıkan ısı enerjisi değişimleri tespit edilebilmektedir. Bu yöndeki bir çalışmada [49], 600 °C'de kalsine edilmiş ağırlıkça %10 oranında şeker kamışı külü katkılı ve katkısız çimento bağlayıcılı kompozitlerde külün puzolanik etkisinin araştırılması kapsamında hidrasyon ısı ölçümleri de yapılarak burada DSC tekniğinden yararlanılmış ve bu örneklerin hidrasyon süresi ile kalsiyum hidroksitin dehidroksilasyon ısı değişimleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuçta, süreye bağlı olarak CH'in dekompozisyon ısı miktarı arasındaki ilişkilerin gösterildiği DSC termogram piklerinden hareketle (Şekil 10), her iki karışımda da hidrasyon ısı değişim davranışının genelde birbirine benzerlik gösterdiği fakat, kül katkılı örneklerdeki dekompozisyon ısı miktarının daha az olduğu gözlenmiş, kül katkılı karışımın katkısız hamura göre, 1 ve 28 günlük kalsiyum hidroksit ile ısı miktarındaki bu azalmaya da, şeker kamışı külünün yüksek puzolanik reaksiyon oranının neden olduğu ifade edilmiştir.



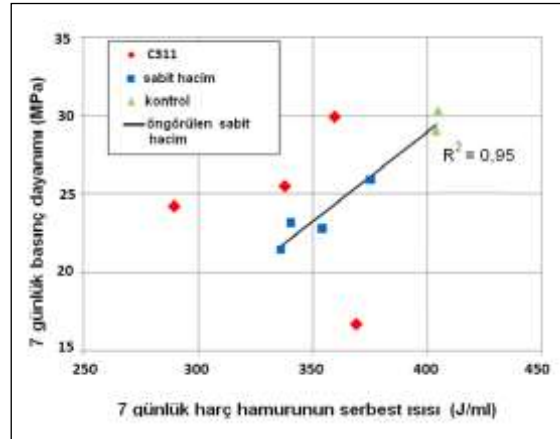
Şekil 10. Kül katkılı ve katkısız çimento bağlayıcılı kompozitlerde DSC ile elde edilen hidrasyon ısı değişimi ile kalsiyum hidroksit tüketimi arasındaki ilişkinin süreye bağlı olarak gösterimi [49].

## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

Buna ek olarak diğer çalışmalarda da gösterildiği gibi puzolanlar, CH ile kimyasal reaksiyon sırasında puzolanik etkiden dolayı hidrasyon ısını, özellikle reaksiyonun ilk sürelerinde, bir miktar düşürebilmektedir [50]. Bu davranış, puzolanik aktivitenin ortaya konmasında bir gösterge olarak değerlendirilebilir, yani puzolanik reaksiyonun hidrasyon ısını düşürmesi durumu, aktivitenin tespitinde bir işaret olarak da kabul edilmektedir. Bunun yanında inceliğin puzolanik reaksiyon ve hidrasyon üzerindeki etkisini de belirtmek gerekir. İnceliği fazla olan çimentolar daha hızlı reaksiyon göstererek ve daha yüksek erken hidrasyon ısı açığa çıkarırlar [51, 52] Ayrıca, puzolan katkılı karışımlarda toplam hidrasyon ısı, çimentonun ve CH'in kendi hidrasyon ısısından daha az olmaktadır. Bu fark, puzolan miktarı arttıkça daha da artış gösterebilir.

Kalorimetrik ölçümlerle puzolanlarla üretilmiş karışımların mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler açısından bir değerlendirme yapılacak olursa, izotermal kalorimetre test sonuçları ile dayanım değerleri arasındaki ilişkinin tatmin edici yönde olmadığı bu yönde yapılan bir araştırmanın sonuçlarında ifade edilmiştir [52].

Ancak, ASTM C311 Standardı test metodunda belirtilen prosedürlerde alternatif olarak önerilen yöntemle, doğal puzolanlar ve uçucu küllerin mekanik aktivite indisleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı bir çalışmada [53] ise sabit hacimsel karışım oranlarında üretilen harçların 7 günlük izotermal kalorimetri ölçümleri ile yine aynı süredeki mekanik yolla elde edilen erken dayanım test sonuçları arasında çok güçlü ilişkiler olduğu ve kalorimetrik ölçüm tekniğiyle puzolan karışımı örneklerin puzolanik aktivite özelliklerinin potansiyel olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir (Şekil 11) (*Bu çalışmada, ilgili C311 standardındaki geçerli test yöntemi uygulandığında basınç dayanımı ve serbest ısı arasında ( $R^2 = 0,04$ ) şeklinde kötü bir korelasyon bulunduğu tespit edilmiş ve bunun ana nedeninin de farklı karışımlardaki su hacim oranının değişkenliğinden kaynaklandığı, bunun yanında eğer su ve diğer bileşenlerin sabit hacimsel oranları korunarak sunulmuş test prosedürü uygulandığında ise aralarında daha iyi bir ilişkinin ( $R^2 = 0,95$ ) bulunduğu gösterilmiştir*).



**Şekil 11.** 7 günlük harç karışımlarının sabit hacim yönteminden hareketle izotermal kalorimetre ile tespit edilen ısı salınımı ile basınç dayanımı ilişkisi ( $R^2=0,95$ ). (Araştırmaya göre C311 standardının öngördüğü yöntem uygulandığında ilişkiler arasında daha kötü bir korelasyon bulunmaktadır)

Bu sonuçlar, aktivite için uygulanan test yöntemleri ve yöntemlerin içerdiği parametreler yanında puzolanların kendi yapısal özelliklerinin ve reaksiyon kinetiğinin önemli ve belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

### 5. SONUÇ ve GENEL DEĞERLENDİRMELER

Bu literatür incelemesinde puzolanik aktivitenin tespitine yönelik olarak uygulanan temel fiziksel yöntemler topluca ele alınmış, temel yaklaşımları açıklanarak, bu yönde yapılmış çeşitli çalışmalardan karakteristik örnekler verilmiş ve diğer bazı test yöntemleri ile aralarındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

Fiziksel analizlerden elektriksel iletim ölçümleri puzolanik aktivitenin tespitinde doğrudan uygulanan bir yöntem olup kendi içerisinde elverişli bir teknik sunmaktadır. Bunun yanında diğer test yöntemlerinden olan mekanik aktivite indisi ile arasında ise her zaman yeterli ve doyurucu ilişkilerin kurulamadığı, mekanik dayanım üzerinde puzolanik reaksiyon sonucu meydana gelen hidrate ürünlerin doğası ile hazırlanmış örneklerin porozite özelliklerinin burada belirleyici bir rol oynadığı yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. İletkenlik ölçümü bir solüsyon üzerine, mekanik testler ise sertleşmiş katı bir örnek üzerine, dolayısıyla farklı özelliklerin tespitine yönelik olarak uygulanmaktadır. Bu bakımdan testlerin sonuçları arasında uyumsuzluklar gözlenebilir. Benzer durumun puzolan katkıli kompozitlerin erken yaşlarında elektriksel direnç ölçüm sonuçları ile mekanik yöntemle tespit edilen puzolanik aktivite indisleri arasında da bulunduğu, daha uzun süreli ölçümlerde nispeten daha anlamlı ilişkilerin bulunduğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda doğal puzolanın puzolanik reaksiyonunun daha uzun sürelerde devam etme eğilimi içinde olduğunu ortaya koymaktadır.

Puzolanik aktivitenin tespitinde uygulanan elektriksel iletkenlik ve öz direnç ölçüm yöntemleri ile diğer kimyasal ve mekanik testler arasında yer yer rastlanan yetersiz korelasyonlar, uygulanan bu testlerde seçilen/uygulanan parametreler, yöntemlerin değişik özellikler üzerine yönelik olması ve ayrıca bağlayıcı ile ilişkisi sonucu meydana gelen kimyasal reaksiyonun gelişim sürelerinin puzolan türlerine göre de farklılıklar göstermesi yanında reaksiyon ürünlerinin morfolojik özellikleri de burada etkili rol oynamaktadır. Bu bakımdan ilgili testlerin sonuçları açısından bu tespitler olağan karşılanabilir ve bunların diğer testlerle de desteklenmesi gerekebilir.

Aynı şekilde, literatürde puzolanik aktivitenin tespitinde kullanılan diğer bazı yöntemlerle arasında doğru kararlar için kesin ölçütler sunmadığı şeklinde görüşler olsa da, yukarıda belirtilen çalışmaların sonuçlardan görüldüğü üzere termal analizlerin, özellikle puzolanik reaksiyonla meydana gelen hidrate ürünlerin ve bir puzolanın sıcaklık etkisine bağlı olarak mineralojik yapısında meydana gelen faz dönüşümlerinin indirekt yönden tespitinde faydalı ve yardımcı bir teknik olduğu da görülmektedir.

Kalorimetrik teknikler ise, puzolan/bağlayıcı karışımlarının kısa süreli ölçümlerinde puzolanik aktivitenin yorumlanması yönünde aydınlatıcı sonuçlar verebilmektedir. Fakat bu durum diğer yöntemlerden elde edilmiş sonuçlarla uyumlu olabileceği anlamına da gelmemektedir. Çimentonun hidrasyonu, çimento tipi, sülfat içeriği, inceliği, su/çimento oranı, başlangıçtaki ve kür sırasındaki sıcaklığı, ilave edilen puzolanik maddeler ve kimyasal katkıları gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Dolayısıyla puzolan/portland çimento karışımlarında ortaya çıkan ısı miktarı puzolanların türlerine göre de değişiklikler gösterebilir. Portland çimentosuna mineral katkıları katıldığında hidrasyonun ilk günleri için izotermal kalorimetri yönteminin, hidrate test örneklerin ileriki yaşlardaki hidrasyonu için de çözelti kalorimetrisi ölçümlerinden faydalanmanın uygun bir seçim yöntemi olabileceği bu yönde yapılan araştırmalarda önerilmiştir. Hidrasyonun ilk günlerde çözelti kalorimetrisiyle yapılan ölçüm değerlerinde puzolan türüne göre büyük değişiklikler görülebilir. Hidrasyonun uzun sürecinde ise ısı değişimi daha az olduğundan ve izotermal kalorimetre ile yapılacak ölçümlerde cihazın ve ortam sıcaklığı gibi dış faktörlerin etkisinden dolayı yanılgılar da ortaya çıkabilir. Bunlar dikkate alınarak yapılacak birkaç ölçüm değerinin ortalaması alındıktan sonra durumun değerlendirmesi daha uygun görülmektedir [47]. Çalışmalarda ayrıca termal analizlerle (TG/DTG) desteklenen izotermal iletim

## Puzolanik Aktivite Tespit Yöntemleri

kalorimetresi ölçümlerinin, gerçekleşen puzolanik reaksiyon sürecinin aydınlatılmasına yardımcı olabildiği de gösterilmiştir [43].

Burada önemli bir noktayı da belirtmek gerekir, o da, puzolanik aktivitenin değerlendirmesinde yararlanılan yöntem ne olursa olsun, uygulanan teknik, reaksiyonun genel mekanizmasını değil, seçilen tekniğin içerdiği parametreler doğrultusunda, sadece bu mekanizmanın bir yönünü yada bir aşamasını, yani reaksiyonla meydana gelen yapısal değişiklikleri farklı yöntemlerle ortaya koymaya yönelik olması hususudur. Bu kapsamda fiziksel yöntemler, puzolanik aktivitenin değerlendirilmesinde uygulanan tekniklerden yalnızca bir gurubunu oluşturur. Puzolanik reaksiyonun kinetiği ise kendi içerisinde kimyasal bir olayla başlayıp, fiziksel, mineralojik ve mekanik değişikliklerle; hem de birçok özel durumdan etkilenerek, zamanla ilerleyen, birbirinden ayrılmaz özellikte kompleks bir mekanizmayı kapsar. Tespit yöntemleri de bu sürecin farklı mekanizmalarındaki değişiklikleri tespit etmeye yönelik olarak geliştirilmiştir. Puzolanların doğası, kimyasal ve mineralojik özellikleri nitel ve nicel açıdan çok değişken olabildiğinden, yalnızca tek bir yöntemi kullanarak aktivitenin kesin bir değerlendirmesini yapmak her zaman tek başına yeterli gelmemektedir. Burada belirtilmiş fiziksel tekniklere temel olacak standartlar, kalorimetri ölçümleri dışında, henüz yeterince bulunmamaktadır. Zaten standartlar, daha çok bir şartname niteliği taşımakta ve burada sadece puzolan bir maddenin sahip olması gereken temel fiziksel ve kimyasal özellikleri belirtmektedir. Bu kriterler ise bir maddenin puzolan olma ihtimalini göstermekte, fakat maddenin reaktifliğine esas oluşturacak kesin bir ölçüt sunmamaktadır.

Dolayısıyla, burada ele alınmış yöntemler puzolanik aktivitenin ve puzolanik reaksiyon sürecinin genel çerçevesini değil sadece bir yönünü ortaya koymaktadır. Diğer test sonuçları arasında karşılaşılan düşük korelasyonlar bu durumun bir göstergesi olarak da değerlendirilebilir. Puzolanların aktivitelerini ve reaksiyonun kinetiğini yorumlamak için farklı kombine yöntemlerin birlikte uygulanmasının daha doğru bir yaklaşım şekli olabileceği, genel bir ölçüt olarak gösterilebilir. Nitekim son yıllarda bu alanda yapılmış çalışmalarda, genellikle bu şekilde kombine yöntemlere başvurulması şeklinde bir eğilimin olması bu durumun bir ifadesi olarak da gösterilebilir. Buradan, puzolanik aktivite özelliğini tam anlamıyla tartışmasız olarak ortaya koymak amacıyla seçimi yapılacak ve genel kabul görmüş tek bir yöntemin henüz olmadığı sonucu çıkmaktadır.

Puzolanik reaksiyon zamanla gelişen bir aktivite olduğundan, kısa ve daha uzun süreli ölçümlerle bu kriterleri de göz önüne alarak fiziksel yöntemlerin verileri ile geleneksel ve analitik diğer teknikleri arasında ilişkilerin, yapılacak başka çalışmalarda da incelenmesi, konunun bir başka perspektiften irdelenmesi açısından aydınlatıcı ve kullanışlı sonuçları olabilir.

### KAYNAKLAR

- [1] Moise's, F., Villar-Cocina, E., Sa'nchez de Rojas, M.I. ve Valencia-Morales, E. The effect that different pozzolanic activity methods has on the kinetic constants of the pozzolanic reaction in sugar cane straw-clay ash/lime systems: Application of a kinetic–diffusive model, *Cement and Concrete Research*, 2005; 35: 2137– 2142.
- [2] Donatello, S., Tyrer, M. ve Cheeseman, C.R. Comparison of test methods to assess pozzolanic activity, *Cement and Concrete Composites*, 2010: 32; 121–127.
- [3] Greenberg, S.A. Reaction between silica and calcium hydroxide solution. 1. Kinetics in the temperature range 30 to 85°C, *Journal Physics Chemistry*, 1961: 65; 1, 12-16.
- [4] Rassk, E. ve Bhaskar, M.C. Pozzolanic activity of pulverized fuel ash, *Cem. Concr. Res.*, 1975: 5, 363–376.
- [5] Luxan, M.P., Madruga, F. ve Saavedra, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement, *Cem. Concr. Res.*, 1989: 19, 63–68.

- [6] Sugita, S., Shoya, M. ve Tokuda, H. Evaluation of pozzolanic activity of rice husk ash, Proceedings of the 4th CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Istanbul, vol. 1, Amer. Concr. Inst., Detroit, USA, pp. 495– 512, ACI SP-132, 1992.
- [7] Tashiro, C., Ikeda, K. ve Inoue, Y. Evaluation of pozzolanic activity by the electric resistance method, *Cem.Concr. Res.*, 1994: 24, 1133–1139.
- [8] Villar-Cocina, E., Valencia-Morales, E., Gonza'lez-Rodri'guez, R. ve Herna'ndez-Rui'z, J., Kinetics of the pozzolanic reaction between lime and sugar cane straw ash by electrical conductivity measurement: A kinetic–diffusive model, *Cement and Concrete Research*, 2003: 33, 517–524.
- [9] Wansom, S., Janjaturapan, S. ve Sinthupinyo, S. Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash: Comparison of Various Electrical Methods, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 2009: 19, 2, 1-7.
- [10] Trusilewicz, L., Fernández-Martínez, F., Rahhal, V.ve Talero, R. TEM and SAED Characterization of Metakaolin. Pozzolanic Activity, *Journal of the American Ceramic Society, Special Issue: BIO2011*, 2012: 95, 9, 2989–2996.
- [11] McCarter, W.J. ve Tran, D., “Monitoring pozzolanic activity by direct activation with calcium hydroxide”, *Constr. Build. Mater.*, 1996: 10(3), 179-184.
- [12] Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. ve Uğurlu, E. Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters, *Cement and Concrete Research*, 2006: 36, 1115–1122.
- [13] Çizer, Ö., Böke, H. İpekoğlu, B. Bazı Osmanlı dönemi hamam yapıları kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçlarının Özellikleri, 2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İTÜ, İstanbul, 469-481, 6-8 Ekim 2004.
- [14] Tashimaa, M.M., Sorianob, L., Monzó, J., Borrachero, M.V., Akasakia, J.L., Payá, J. New method to assess the pozzolanic reactivity of mineral admixtures by means of pH and electrical conductivity measurements in lime:pozzolan suspensions, *Materiales de Construcción*, 2014: Vol. 64, Issue 316.
- [15] Uzal, B., Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu M.C. ve Çulfaz, A. Pozzolanic activity of clinoptilolite: A comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic natural pozzolan, *Cement and Concrete Research*, 2010: 40, 398–404.
- [16] Araceli, E.A., Monica, A.T., ve Monica, P. Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture, *Waste Management*, 2009: 29, 1666-1674.
- [17] Velázquez, S., Monzó, J.M., Borrachero, M.V. ve Payá, J. Assessment of the Pozzolanic Activity of a Spent Catalyst by Conductivity Measurement of Aqueous Suspensions with Calcium Hydroxide”, *Materials*, 2014: 7, 2561-2576. doi:10.3390/ma7042561.
- [18] Wansom, S., Janjaturaphan, S., Sinthupinyo, S. Characterizing pozzolanic activity of rice husk ash by impedance spectroscopy, *Cement and Concrete Research*, 2010: 40, 1714–1722.
- [19] Chuichi, T., Ko, I. ve Yoshihiro, I. Evaluation of pozzolanic activity by the electric resistance measurement method, *Cement and Concrete Research*, 1994: 24/6; 1133–1139.
- [20] Ali Akbar, R., Rahimeh, M. ve Moosa, K. Influence of zeolite additive on chloride durability and carbonation of concretes, *Applied mathematics in Engineering, Management and Technology 2014, The special issue in Management and Technology*, 2014, 1081-1093.
- [21] Ali Akbar, R., Amirreza, P., Mahdi, M. ve Faramarz, M. Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength, *Construction and Building Materials*, 2472-2479, 2014.
- [22] Moropoulou, A., Bakolas, A. ve Aggelakopoulou, E. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis, *Thermochimica Acta*, 2004: 420; 135–140.

- [23] Trusilewicz, L., Fernández-Martínez, F., Rahhal, V.ve Talero, R., TEM and SAED Characterization of Metakaolin. Pozzolan Activity, Journal of the American Ceramic Society, Special Issue: BIO2011, 2012: 95/9; 2989–2996.
- [24] Lee; S., Youn, J.K. ve Moon, H.S. Phase Transformation Sequence from Kaolinite to Mullite Investigated by an Energy-Filtering Transmission Electron Microscope, Journal of American Ceramic Society, 1999: 82; 2841-2848.
- [25] Ilic, B.R., Mitrovic, A.A., Milicic, L.R. Thermal Treatment of Kaolin Clay to obtain Metakaolin, Hem. ind. 2010: 64(4) 351–356. DOI: 10.2298/HEMIND100322014Iç.
- [26] Pera, J. Metakaolin and calcined clays. Cement and Concrete Composites. 2001: 23.
- [27] Mitrovic, A., Zdujic, I.M. Mechanochemical treatment of Serbian kaolin clay to obtain a highly reactive pozzolana, Journal of. Serb. Chem. Soc. 2013: 78 (4), 579–590.
- [28] Lee, S., Youn, J.K., Moon, H.S. Phase Transformation Sequence from Kaolinite to Mullite Investigated by an Energy-Filtering Transmission Electron Microscope, Journal of American Ceramic Society. 1999: 82 (10), 2841-2848.
- [29] Frias Rojas, M. ve Cabrera, J. The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolin–lime–water systems, Cement and Concrete Research. 2002, 32,133–138.
- [30] Ramadhansyah, R., Mahyun, A.W., Salwa, M.M., Abu Bakar, B.H., Megat Johari, M.A. ve Wan Ibrahim, M.H. Thermal Analysis and Pozzolan Index of Rice Husk Ash at Different Grinding Time, International Conference on Advances Science and Contemporary Engineering (ICASCE 2012), 24-25, Oktober, 2012.
- [31] Parhizkar, T., Najimi, M., Pourkhorshidi, A.R., Jafarpour, F., Hillemeier, B. ve Herr, R. Proposing a New Approach for Qualification of Natural Pozzolans, Scientia Iranica, Sharif University of Technology, 2010: 17/6; 450-456.
- [32] Pourkhorshidi, A.R., Najimi, M., Parhizkar, T., Hillemeier, B. ve Herr, R. A comparative study of the evaluation methods for pozzolans, Advances in Cement Research, 2010: 22(3); 157-164.
- [33] Gava, G.P. and Prudencio JR, L.R. Pozzolan activity tests as a measure of pozzolans performance: Part 1, Magazine of Concrete Research, 2007: 59(10); 729-734.
- [34] Gava, G.P. and Prudencio JR, L.R. Pozzolan activity tests as a measure of pozzolans performance: Part 2, Magazine of Concrete Research, 2007: 59(10); 735-741.
- [35] Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., Vela'zquez, S., ve Bonilla, M. Determination of the pozzolan activity of fluid catalytic cracking residue. Thermogravimetric analysis studies on FC3R–lime pastes, Cement and Concrete Research, 2003: 33; 1085–1091.
- [36] Roszczynialski, W. Determination of pozzolan activity of materials by thermal analysis, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2002: 70; 387–392.
- [37] He, C., Makovicky, E., Osbaeck, B. Thermal stability and pozzolan activity of calcined illite, Applied Clay Science, 1995: 9; 337-354.
- [38] TS EN 196-8 Çimento deney yöntemleri - Bölüm 8: Hidratasyon ısısı - Çözelti yöntemi, 2011.
- [39] Poellmann, H., Kuzel, H.J. ve Meyer, H.W. The usage of heat-flow calorimetry in cement chemistry- Construction and application of a low coast high-sensitive calorimeter, Proc. XIIIth Int. Con. On Cement Micr. Tampa, (edited by J. Bayles, G. R. Gouda & A. Nisperos), pp. 254-272, 1991.
- [40] Wu, Z.Q. ve Young, J.F. The hydration of tricalcium silicate in the presence of colloidal silica., J Mater Sci.; 1984: 19; 3477–86.
- [41] De Silva, P.S. ve Glasser, F.P. Hydration of cements based on metakaolin: thermochemistry, Adv Cem Res.; 1990: 3; 167–77.
- [42] Garcia de Lomas, M., Sanchez de Rojas, M.I. ve Frias, M. Pozzolan reaction of a spent fluid catalytic cracking catalyst in FCCcement mortars, J Therm Anal Calorim. 2007: 90; 443–447.

- [43] Snellings, R., Mertens, G. ve Elsen, J. Calorimetric evolution of natural zeolites, *Journal of Therm Anal Calorim.* 2010: 101; 97–105.
- [44] Gruyaert, E., Robeyst, N. ve De Belie, N. Study of the hydration of Portland cement blended with blast-furnace slag by calorimetry and thermogravimetry, *J Therm Anal Calorim.* 2010: 102; 941–51.
- [45] Baert, G., Hoste, S., De Schutter, G. ve De Belie, N. Reactivity of fly ash in cement paste studied by means of thermogravimetry and isothermal calorimetry, *J Therm Anal Calorim.* 2008: 94; 485–92.
- [46] Ivindra, P. ve Hansen, W. Investigation of blended cement hydration by isothermal calorimetry and thermal analysis, *Cement and Concrete Research*, 2005: 35; 1155– 1164.
- [47] Siler, P., Kratky, J., De Belie, N. Isothermal and solution calorimetry to assess the effect of superplasticizers and mineral admixtures on cement hydration, *J Therm Anal Calorim.* 2012: 107, 313–320. DOI 10.1007/s10973-011-1479-8.
- [48] Senhadji, Y., Escadeillas, G., Khelafi, H., Mouli, M., Benosman, A.S. Evaluation of natural pozzolan for use as supplementary cementitious material, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2012: Vol. 16, No. 1, 77–96.
- [49] Singh, N.B., Das, S.S., Singh, N.P. ve Dwivedi. Studies on SCLA composite Portland cement, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 2009: 16; 415-422.
- [50] Uchikawa, H., and Uchida, S. Influence of Pozzolana on the Hydration of C<sub>3</sub>A. *Proceedings of the 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Sub-Theme IV, Paris, France, 1980.*
- [51] Erdoğan, T.Y. *Beton.* ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş. Ankara. 2003.
- [52] Derya, Ö. Early Heat Evolution in Natural Pozzolan-Incorporated Cement Hydration. A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, s. 83, 2012.
- [53] Dale, P.B., Alejandro, D.H., Daniel, G.M. Comparison of ASTM C311 Strength Activity Index Testing vs. Testing Based on Constant Volumetric Proportions, *Journal of ASTM International*, 2011: Vol. 9 (1); pp.7.



## Swiss Albino Farelerde Fenpiroksimat (Akarisit)'in Teşvik Ettiği Biyokimyasal Değişime Karşı Fındığın Koruyucu Rolü

Kübra SABAH<sup>1</sup>, Kültiğın ÇAVUŞOĞLU<sup>1\*</sup>, Güray DEMİRTAŞ<sup>1</sup>, Kürşad YAPAR<sup>2</sup>, Emine YALÇIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 28100 Güre Yerleşkesi, Giresun

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Farmakoloji A.B.D., 28100 Gazipaşa Yerleşkesi, Giresun

Received: 05.10.2016; Accepted: 23.01.2017

**Özet.** Fenpiroksimat Tetranychidae, Eriophyiidae ve Tarsonemidae ailelerindeki önemli fitofag akarlarına karşı mücadelede kullanılan pirazol bir akarisitir. Bu çalışmanın amacı, Swiss albino farelerde seçilen biyokimyasal parametreler üzerine Fenpiroksimat akarisinin toksisitesini değerlendirmek ve bu biyokimyasal değişimlere karşı fındığın koruyucu rolünü araştırmaktır. Fareler rastgele bir (1) kontrol ve üç (3) uygulama olmak üzere toplam dört (4) gruba ayrılmıştır. Deneysel periyodun sonunda, tüm fareler hafif eter anestezisi altında bayıltılmış, biyokimyasal analiz ve ölçümler için kan örnekleri ile karaciğer ve böbrek dokuları elde edilmiştir. Serum Aspartat Aminotransferaz (AST), Alanin Aminotransferaz (ALT), Kan Üre Nitrojen (BUN) ve kreatinin seviyeleri ölçülmüş, elde edilen dokularda ise Malondialdehit (MDA) ve Glutasyon (GSH) seviyeleri analiz edilmiştir. Sonuçta, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında Fenpiroksimat uygulanan farelerde GSH seviyelerinde önemli bir azalma ( $p<0.05$ ), AST, ALT, BUN, kreatinin ve MDA seviyelerinde ise önemli bir artış ( $p<0.05$ ) görülmüştür. Fenpiroksimat uygulama grubu ile karşılaştırıldığında, Fenpiroksimat ile birlikte fındık uygulaması GSH seviyelerinde tekrar önemli bir artışa ( $p<0.05$ ), AST, ALT, BUN, kreatinin ve MDA seviyelerinde ise önemli bir azalmaya ( $p<0.05$ ) neden olmuştur. Sonuç olarak, fındık ile beslemenin Fenpiroksimat tarafından teşvik edilen biyokimyasal hasara karşı önemli bir koruma sağladığı söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Albino fare, fenpiroksimat, oksidatif stres, serum parametresi

## Protective Effect of Nuts Against Fenpyroximate (Acaricide)-Induced Biochemical Alteration in Swiss Albino Mice

**Abstract.** Fenpyroximate is a pyrazole acaricide with selective activity against important phytophagous mites in the families' Tetranychidae, Eriophyiidae, and Tarsonemidae. The goal of this study was to evaluate the toxicity of Fenpyroximate acaricide on selected biochemical parameters in Swiss albino mice. And also, we investigated the protective role of nuts against Fenpyroximate induced biochemical alterations. Mice were randomly divided into four (4) groups consisting of one (1) control and three (3) experimental groups. At the end of the experimental period, blood samples for the biochemical analysis were obtained from all mice after being lightly anesthetized with ether and specimens of kidney and liver were removed and prepared for measurement. Aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), blood urea nitrogen (BUN), creatinine levels were analyzed from serum. Malondialdehyde (MDA) and reduced glutathione (GSH) levels were analyzed from isolated tissues. The results showed that the mice treatment with Fenpyroximate showed a significant increase ( $p<0.05$ ) in levels of AST, ALT, BUN, creatinine and MDA, while GSH showed a significant decrease ( $p<0.05$ ) to compared with control group. Mice that were given nuts in combination with Fenpyroximate showed a significant decrease ( $p<0.05$ ) in AST, ALT, BUN, creatinine and MDA, while GSH was significantly increased ( $p<0.05$ ) to compared with Fenpyroximate group. We can conclude that feed with nuts showed significant protection against biochemical damage induced by Fenpyroximate.

**Keywords:** Albino mice, fenpyroximate, oxidative stress, serum parameters

\* Corresponding author. Email address: kultigincavusoglu@mynet.com



## GİRİŞ

Pestisitler; tarımsal ürünlere zarar veren, istenmeyen zararlı organizmalarla mücadelede kullanılan aktif kimyasallardır [1]. Son yıllarda birim alandan daha fazla ve daha kaliteli ürün elde etmek amacıyla pestisit kullanımını oldukça artmıştır [2].

Tarım sektöründe yaygın olarak kullanılan pestisitler, içeriklerindeki kimyasal maddeler nedeniyle ekosistemde kirlilik artışına sebep olabildikleri gibi, besin zincirine katılmak suretiyle de hücresel reaksiyonlara toksik ajan olarak etki edebilmekte, sonuçta da mutajenik ve karsinojenik etkilere yol açabilmektedirler [3].

Pestisitler; kimyasalın fiziki hali ve işlevine, bileşimindeki etkili madde grubuna, yarılanma ömürlerine, zararlının biyolojik dönemine ve hedef aldığı organizmanın çeşidine göre farklı şekillerde sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmalardan en fazla tercih edileni pestisit hedef aldığı organizmaya göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre; böcekler etki edenler insektisit, yabancı otlara etki edenler herbisit, mantarlara etki edenler fungusit ve akarlar etki edenler ise akarisit olarak isimlendirilir[4].

Akarisitler; akarların bazı tarımsal ürünler ve süs bitkilerinde oluşturdukları ekonomik zararın önüne geçmek için kullanılan kimyasal maddelerdir. 20. yüzyıla kadar tarımsal ekosistemde akar zararları oldukça artmış, II. Dünya Savaşı'ndan sonra ise yüksek ekonomik değere sahip bitkilerde, bu zararları önlemek amacıyla biyolojik mücadele yöntemi kullanılmaya başlanmış, böylece akarlar üzerinden beslenen canlıların temini yoluna gidilmiştir. Ancak biyolojik mücadelenin yetersiz kalması nedeniyle, akarisit kullanımı giderek kaçınılmaz hale gelmiştir<sup>[5-8]</sup>. Özellikle örümcek akarları en fazla zarara sebep olan türlerin başında gelmektedir. İkinci sırada Tetranychidae, üçüncü sırada ise sürme ve pas hastalığına sebep olan Eriophyoidea türleri bulunmaktadır. Günümüzde söz konusu türlerle mücadele amacıyla farklı etki tarzlarına sahip birçok sentetik akarisit kullanılmaktadır<sup>[9-13]</sup>.

Bu akarisitlerden biri de Fenpiroksimat'dır. Ülkemizde ilk defa Meteor ismi ile ruhsatlandırılmıştır. Fenpiroksimat fenilpyrazol grubu bir akarisittir. Bağ, turuncgiller, pamuk ve sebzelere zarar veren kırmızı örümceklere (*Tetranychus urticae* Koch.) karşı, ayrıca beyazsinek, lepidopter larvaları, yaprak bitleri, yaprak psillidi (*Agonoscena* spp.), pas ve patates böceğine karşı da etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Asit ve alkali ortamda stabil olan hem kontak hem de mide etkili bir akarisittir. Mitokondriyal Elektron Taşınım Sisteminde (ETS) oksidatif fosforilasyonu diğer bir ifadeyle Adenozin Trifosfat (ATP) sentezini engelleyen tarzda bir etki mekanizmasına sahiptir<sup>[14,15]</sup>.

Fındık çok iyi bir enerji kaynağı olup, vücuda güç ve zindelik vermenin yanında beden ve zihin yorgunluğunu gidermektedir. Ülkemiz için ticari değeri çok yüksek olan fındığın %80'i Karadeniz Bölgesinde, en fazla ise Giresun, Ordu, Trabzon ve Samsun illerinde yetiştirilmektedir. Ülkemiz, Dünya fındık üretiminde ise %65'lik payla ilk sırada yer almaktadır. İçeriğindeki yağ (oleik asit), protein, karbonhidrat, E vitamini, mineraller (Ca, Mg, P ve K), diyabetik lifler, fitosterol (beta-sitosterol) ve anitoksidant fenolikler nedeniyle insan sağlığı açısından çok faydalıdır. Kolesterolü düşürdüğü, kansızlığı önlediği, vücut ve kemik gelişimini desteklediği, kalp ritmini düzenleyerek kalp krizi riskini azalttığı, varis oluşumunu önlediği, cinsel gücü arttırdığı, soğuk algınlığı ve akciğer hastalıklarına karşı koruduğu, cildi güzelleştirdiği bilinmektedir. Fındık, E vitamini açısından bitkisel yağlardan sonra en iyi ikinci kaynaktır. E vitamini hücrelerin yenilenmesi ve yapımı, alyuvarların bütünlüğünün sağlanması, en önemlisi ise koroner kalp rahatsızlığı ve kanserin önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle de, son günlerde fındık ve fındık ürünlerini içeren doğal gıda maddelerine gerek tüketici gerekse de sanayi kuruluşlarının ilgisi oldukça artmıştır. Ayrıca, son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, fındıkta bol miktarda bulunan beta-sitosterol maddesinin kolesterolü düşürdüğünü, tümör büyümesi

## Swiss Albino Farelerde Fenpiroksimat

engelleyerek ve apoptosisi uyararak kolon, prostat, göğüs vb. kanser tiplerinin önlenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir<sup>[16]</sup>.

Bu çalışmanın amacı, tarım alanlarında akarlarla mücadelede yaygın olarak kullanılan Fenpiroksimat akarisitinin Swiss albino farelerde seçilen biyokimyasal parametreler üzerindeki muhtemel toksik etkilerini ve bu etkilere karşı findığın koruyucu rolünü araştırmaktır.

## 2.MATERYAL VE METOT

### Deneyel İşlemler

Bu çalışmada, Giresun Üniversitesi Deney Hayvanları Araştırma Laboratuvarında mevcut yirmi dört (24) adet Swiss albino fare kullanılmıştır. Çalışma öncesinde, Giresun Üniversitesi Yerel Etik Kurulundan gerekli “etik kurul izni” alınmıştır (Karar Tarihi: 26 Mart 2013, Karar No: 2013/1). Hayvanlar bir (1) kontrol ve üç (3) uygulama olmak üzere toplam dört (4) gruba ayrılmıştır. Fenpiroksimatın akut toksisite LD<sub>50</sub> değeri aralığı 440-520 mg/kg olduğundan, bu çalışmada kronik toksisiteyi belirlemek amacıyla uygulama gruplarına 400 mg/kg c.a fenpiroksimat uygulanmıştır<sup>[17]</sup>.

Grup I: kontrol (su + pellet yem),

Grup II: su + findık,

Grup III: 400 mg/kg c.a Fenpiroksimat,

Grup IV: 400 mg/kg c.a Fenpiroksimat + findık.

Uygulama periyodu süresince, farelerin 12 saat ışık 12 saat karanlık döngüde, 25 °C ve %50 nem ortamında bakımları sağlanmıştır. On (10) haftalık uygulama periyodu süresince, kontrol grubundaki fareler pellet yem ve çeşme suyu, uygulama grubundaki fareler ise findık ve Fenpiroksimat'ın 400 mg/kg c.a dozu ile oral yolla beslenmişlerdir. Uygulama periyodundan bir hafta önce hayvanlar standart pellet yem ve çeşme suyu ile beslenerek ortama adaptasyonları sağlanmıştır.

### Serum analizi

Serum eldesi için, tam kan örnekleri hafif eter anestezi altında farelerden intrakardiyak olarak alınmış, vacutainer tüplere (BD Vacutainer Systems, San Jose, CA, ABD) alınan kan örnekleri +4 °C'de 10 dakika 1200 g santrifüje edilmiş ve analiz süresine kadar -20 °C'de saklanmıştır. AST (GOT sıvı reaktif, katalog numarası A559-150, Teco Diagnostics), ALT (GPT sıvı reaktif, katalog numarası A524-150, Teco Diagnostics) enzim aktiviteleri ile BUN (katalog numarası B549-150, Teco Diagnostics) ve kreatinin (katalog numarası C513-480, Teco Diagnostics) düzeyleri ticari olarak satılan kitler ile otoanalizör (Model 99M Chemistry Analyzer, Medispec, Germantown, MD, USA) yardımıyla ölçülmüştür.

### Lipid peroksidasyonu ve glutatyon aktivitesi

Fareler eter anestezi altında kalp eksangunasyon yöntemiyle sakrifiye edilerek, her bir hayvanın karaciğer ve böbrek dokuları çıkartılarak yıkanmış, kurutulmuş ve biyokimyasal ölçümler için hazır hale getirilmiştir. Toplanan dokular soğuk 0.15 M KCl banyosu içinde homojenizatör (Ultraturrax tip T25-B, IKA Labortechnik, Staufen, Almanya) yardımıyla 16.000 rpm de 3 dakika homojenize edilmiş, homojenatlar +4 °C'de 5000 g de 1 saat santrifüj işlemine maruz bırakılmış ve süpernatantlar alınarak analiz edilinceye kadar -40 °C'de saklanmıştır. Doku MDA ve GSH düzeyleri Yoshioka ve ark.<sup>[18]</sup> ile

Beutler<sup>[19]</sup> tarafından bildirilen kolorimetrik yöntem kullanılarak UV-spektrofotometre (UV mini-1240, Shimadzu, Kyoto, Japan) ile ölçülmüştür.

### Histopatolojik incelemeler

Mikroskopik incelemeleri için, farelerden çıkartılan karaciğer ve böbrek dokuları %10'luk formalin solüsyonunda fikse edilmiş, parafine gömülerek, rotary mikrotom yardımıyla 5 µm kalınlığında kesitler alınarak, Hematoxylin and Eosin (H-E) ile boyanmış, 4x, 10x, 40x ve 100x objektiflerde incelenmiştir.

### İstatistiksel analiz

İstatistiksel analizler için SPSS for Windows V 22.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA, 2013) paket programı kullanılmıştır. Gruplar arasında istatistiksel farkların değerlendirilmesi “*One-way ANOVA*” ve “*Duncan*” testleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veriler ortalama ± SD olarak verilmiş ve p değeri 0.05'den küçük olduğunda istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

## 3.SONUÇLAR

**Tablo 1.** Fenpiroksimatın seçilen bazı biyokimyasal parametreler üzerine etkisi

Gruplar	AST (U/L)	ALT (U/L)	BUN (mg/L)	Kreatinin (mg/L)
Grup I	135±08.17 <sup>c</sup>	76±13.03 <sup>c</sup>	116±16.98 <sup>c</sup>	6.38±0.74 <sup>b</sup>
Grup II	133±08.64 <sup>c</sup>	75±10.72 <sup>c</sup>	114±13.84 <sup>c</sup>	6.38±1.53 <sup>b</sup>
Grup III	220±16.10 <sup>a</sup>	122±12.53 <sup>a</sup>	239±24.49 <sup>a</sup>	10.80±1.64 <sup>a</sup>
Grup IV	174±11.55 <sup>b</sup>	92±12.21 <sup>b</sup>	119±20.36 <sup>b</sup>	7.77±0.83 <sup>b</sup>

\*Grup I: kontrol (su + standart pellet yem), Grup II: su + fındık, Grup III: 400 mg/kg c.a Fenpiroksimat, Grup IV: 400 mg/kg c.a Fenpiroksimat + fındık. AST: Aspartat Amino Transferaz, ALT: Alanin Aminotransferaz, BUN: Kan Üre Nitrojen. Veriler ortalama ± standart sapma (SD) olarak gösterildi (n=6). Aynı sütün içerisinde farklı harfler ile belirtilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (P<0.05).

Fenpiroksimatın bazı biyokimyasal parametreler üzerine etkileri Tablo 1’de verilmiştir. AST, ALT, BUN ve kreatinin düzeylerinde en fazla artış Fenpiroksimat ile muamele edilen Grup III’de tespit edilmiştir. Bu grupta ölçülen değerlerin diğer gruplara göre istatistiksel olarak önemli olduğu da belirlenmiştir (P<0.05). Söz konusu parametreler ile ilgili en düşük değerler ise kontrol grubu ve sadece fındık ile beslenen Grup II’de ölçülmüştür. Fenpiroksimat + fındık ile beslenen Grup IV’de ise AST, ALT, BUN ve kreatinin değerlerinde Grup III’e göre tekrar bir azalmanın olduğu, diğer bir ifadeyle fındık ile beslemenin Fenpiroksimat’ın olumsuz etkisini tersine çevirdiği gözlenmiştir. Ayrıca Fenpiroksimatla muamele edilen Grup III ile karşılaştırıldığında Grup IV’deki bu azalışın istatistiksel açıdan önemli olduğu da belirlenmiştir (P<0.05)

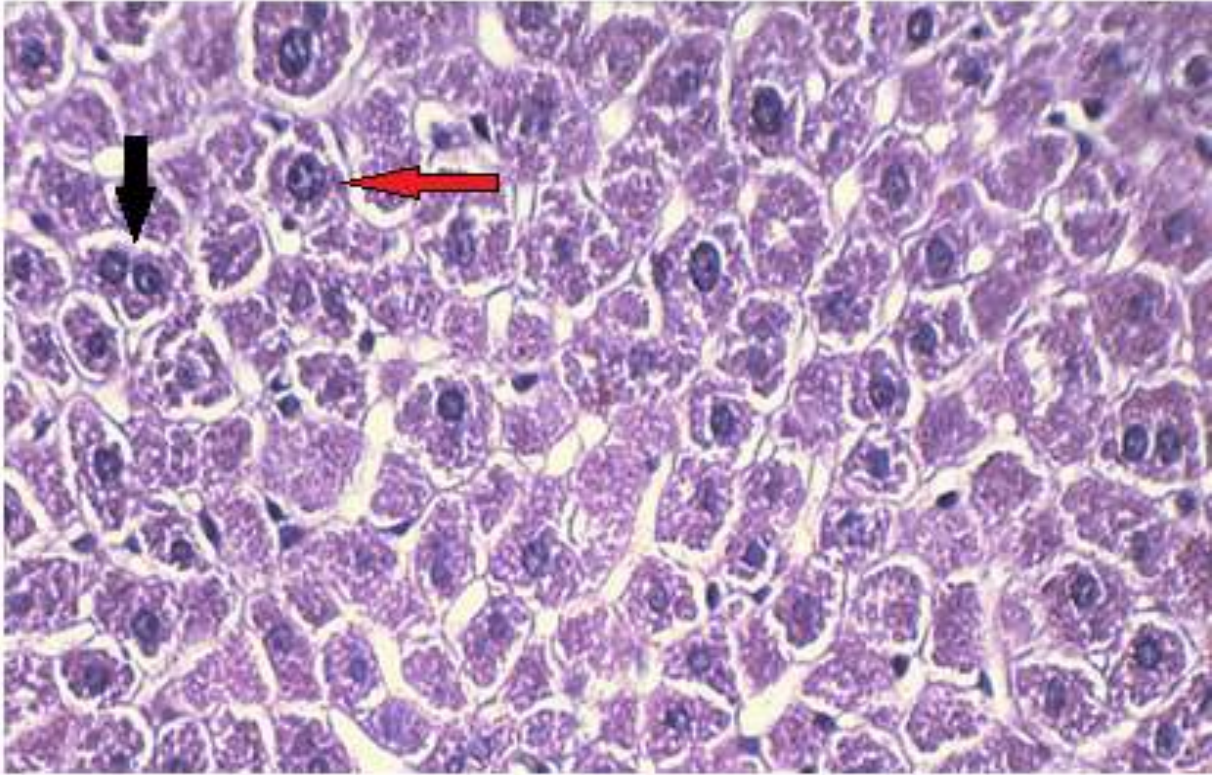
## Swiss Albino Farelerde Fenpiroksimat

**Tablo 2.** Fenpiroksimat uygulamasının serum MDA ve GSH düzeylerine etkisi

Gruplar	Karaciğer MDA (nmol/g)	Böbrek MDA (nmol/g)	Karaciğer GSH (mg/g)	Böbrek GSH (mg/g)
Grup I	0.30±0.02 <sup>c</sup>	0.18±0.04 <sup>b</sup>	0.38±0.06 <sup>a</sup>	0.23±0.06 <sup>a</sup>
Grup II	0.30±0.03 <sup>c</sup>	0.18±0.06 <sup>b</sup>	0.37±0.07 <sup>a</sup>	0.21±0.04 <sup>ab</sup>
Grup III	0.47±0.10 <sup>a</sup>	32±0.08 <sup>a</sup>	0.22±0.05 <sup>b</sup>	0.14±0.02 <sup>c</sup>
Grup IV	0.38±0.05 <sup>b</sup>	0.25±0.06 <sup>ab</sup>	0.27±0.05 <sup>b</sup>	0.16±0.04 <sup>bc</sup>

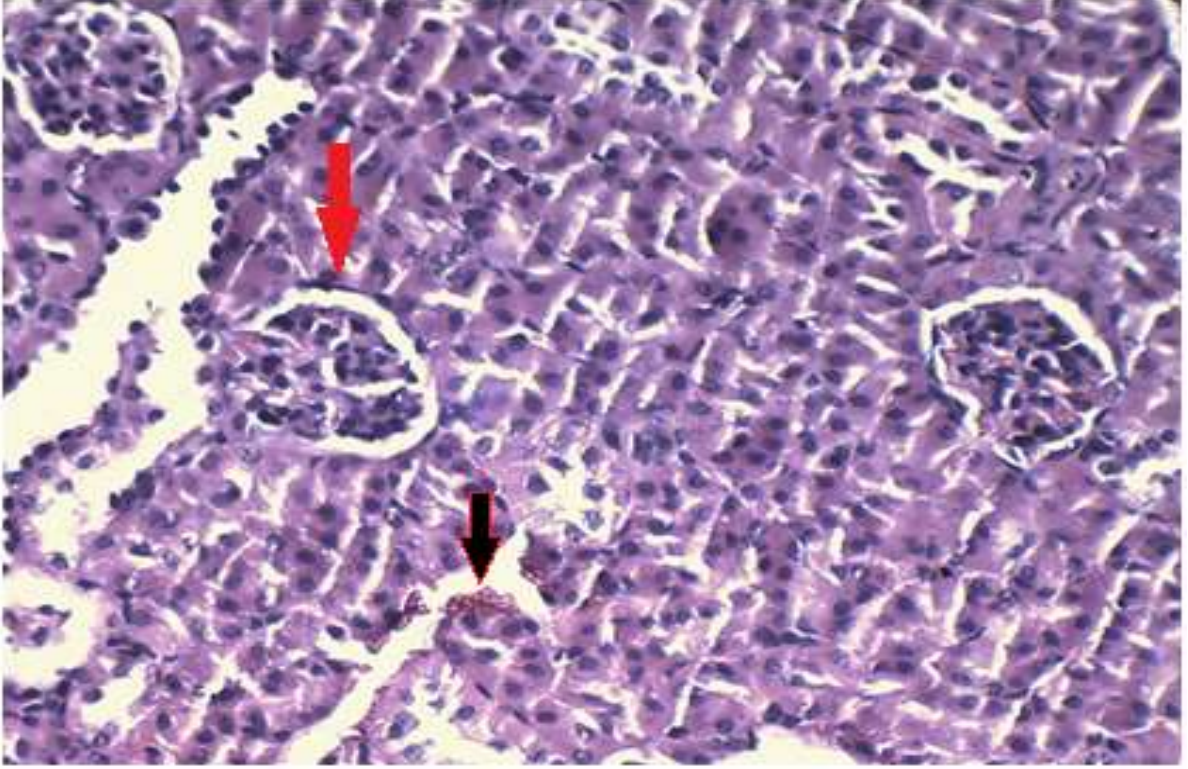
\*Grup I: kontrol (su + standart pellet yem), Grup II: su + fındık, Grup III: 400 mg/kg c.a Fenpiroksimat, Grup IV: 400 mg/kg c.a Fenpiroksimat + fındık. MDA: Malondialdehit, GSH: Glutasyon. Veriler ortalama ± standart sapma (SD) olarak gösterildi (n=6). Aynı sütün içerisinde farklı harfler ile belirtilen ortalamalar istatistiksel olarak önemlidir (P<0.05).

Fenpiroksimat uygulamasının doku MDA ve GSH düzeylerine etkisi Tablo 2’de verilmiştir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde en yüksek MDA ve en düşük GSH düzeyleri sadece Fenpiroksimat ile muamele edilen Grup III’deki farelerin karaciğer ve böbrek dokularında ölçülmüştür. Elde edilen değerlerin kontrol grubu ile karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan önemli olduğu da belirlenmiştir (P<0.05). Fenpiroksimat + fındık ile muamele ise kontrol grubu kadar olmasa da, MDA düzeylerinde tekrar bir azalmaya, GSH düzeylerinde ise tekrar bir artışa neden olmuştur. Sonuçta fındık ile beslemenin Fenpiroksimatın olumsuz etkilerini tersine çevirdiği tespit edilmiştir.



**Şekil 1.** Fenpiroksimat uygulama grubunda karaciğer hücresinin görünümü [binukleuslu hücre (siyah ok), karyomegali (kırmızı ok)]. **Boyama:** Hematoksilen-Eosin. **Büyütme:** 500X.





**Şekil 2.** Fenpiroksimat uygulama grubunda böbrek hücresinin görünümü [hyalin cast (kırmızı ok), nekroz (siyah ok)]. **Boyama:** Hematoksilen-Eosin. **Büyütme:** 500X.

Fenpiroksimat uygulamasının karaciğer ve böbrek dokularında sebep olduğu hüresel hasarlar Şekil 1 ve 2’de gösterilmiştir. Mikroskopik incelemeler sonucunda, Fenpiroksimat uygulamasının karaciğer ve böbrek hücrelerinde nekroz, hyalin cast, karyomegali ve binukleuslu hücre oluşumunu gibi hasarlara neden olduğu gözlenmiştir.

#### 4.TARTIŞMA

Bu çalışmada, Fenpiroksimat akarisitinin albino farelerde meydana getirdiği biyokimyasal değişimler ve bu değişimlere karşı findığın rolü araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, Fenpiroksimat uygulamasının karaciğer ve böbrek dokularında hasara neden olmak suretiyle AST, ALT, BUN ve kreatinin seviyelerinde kontrol grubuna göre önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Literatürde doğrudan Fenpiroksimat ile olmasa da, diğer pestisitlerin AST, ALT, BUN ve kreatinin düzeylerinde değişime neden olduğunu gösteren bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Rekha ve Hamid<sup>[20]</sup> tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, pestisit uygulamasının albino ratlarda böbrek tübüler yapısında hasara ve karaciğerde detoksifikasyonuna sebep olarak AST, ALT ve kreatinin değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Al-Amoudi<sup>[21]</sup> tarafından gerçekleştirilen benzer tarzdaki bir başka çalışmada ise, Metaxyl fungusiti uygulanan albino farelerde AST, ALT ve transaminaz enzim değerlerinde artış, total protein ve albümin değerlerinde ise azalma rapor edilmiştir. Lamfon<sup>[22]</sup> tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, Metalaxyl fungusit uygulamasının fare karaciğer hücrelerinde hasara neden olmak suretiyle serum AST ve ALT düzeylerini arttırdığı, zencefil (*Zingiber officinale* Roscoe.) uygulamasının ise karaciğer hücrelerinde Metalaxyl’in sebep olduğu toksisiteyi azaltarak AST ve ALT düzeylerinde tekrar bir iyileşmeye neden olduğu gösterilmiştir.

Fenpiroksimat'ın bir diğer etkisi ise oksidatif stres parametreleri olan MDA ve GSH düzeyleri üzerine olmuştur. Fenpiroksimat uygulaması sonucunda doku MDA düzeylerinin arttığı, GSH düzeylerinin ise azaldığı belirlenmiştir. Literatürde pestisitlerin teşvik ettiği oksidatif stres hasarı üzerine yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Örneğin Tunçmen ve Tuzmen<sup>[23]</sup> tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, pestisitlerle kirletilmiş içme suyu uygulanan ratların kan, böbrek, karaciğer ve beyin dokularında serbest radikal oluşumunun arttığı, buna bağlı olarak MDA düzeyinin yükseldiği ve GSH düzeyinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Matos ve ark.<sup>[24]</sup> tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, Ferric Nitrotriacetate (Fe-NTA) uygulamasından sonra, ratlarda karaciğer MDA seviyesinin arttığı rapor edilmiştir. Ali<sup>[25]</sup> tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise, Fenpiroksimat'ın ratlarda total antioksidan aktivite üzerinde inhibitör etki yaparak MDA seviyesinde artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Fenpiroksimat uygulamasının albino farelerde seçilen biyokimyasal parametreler üzerinde toksik etkilere yol açarak değişimlere neden olduğu, fındık ile beslemenin ise Fenpiroksimat'ın neden olduğu bu toksisiteyi azaltarak, söz konusu parametrelerde tekrar bir iyileşmeye sebep olduğu gözlenmiştir.

Son yıllarda kimyasal ajanların sebep olduğu toksisiteyi azaltmada biyolojik kökenli ürünlerin kullanımı oldukça artmıştır. Örneğin Bucak ve ark.<sup>[26]</sup> anti-kanser ilacı Paklitaksel'in yan etkilerini azaltmada "zerdeçal" (*Curcuma longa* turmeric.) özütünü, Yaman ve ark.<sup>[27]</sup> karsinojen bir kimyasal olan Aflatoksinin toksik etkilerine karşı balı, Devi ve ark.<sup>[28]</sup> ise anti-kanser ilacı Siklofosamid'in teşvik ettiği toksisiteye karşı domates (*Solanum lycopersicum* L.) özütünü kullanmışlardır. Bu çalışmada ise, Fenpiroksimat'ın sebep olduğu toksisiteyi azaltmada biyolojik bir ürün olan "fındık" kullanılmıştır. Fındığın söz konusu etkisinin, içeriğinde yer alan E vitamini, linoleik asit, oleik asit ve fitosterol (beta-sitosterol) gibi antioksidant özellikteki maddelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira gerçekleştirilen pek çok araştırmada, fındığın içeriğinde yer alan bu maddelerin kolesterol seviyesini azalttığı, kan şekerini ve kan basıncını düzenlediği, kalp-damar hastalıklarını önlediği, sindirim ve dolaşım sistemi bozuklukları ile kansere karşı koruyucu etkiye sahip olduğu gösterilmiştir.

Bu nedenle fındık, pestisit maruziyeti sonucunda ortaya çıkan toksisitenin azaltılmasında "antioksidan" bir ürün olarak kullanılabilir.

### Teşekkür

Bu çalışmamızı destekleyen, Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Birimi Koordinatörlüğü teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- [1]. Gul, T., Kaymak, F., Gökalp Muranlı, F.D., 2006. Genotoxic effects of Avenoxan on *Allium cepa* L. and *Allium sativum* L. *Caryologia*. 59 (3): 241-247.
- [2]. Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1997. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:52, Basım. Ankara: TC Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü yayını, 9-10.
- [3]. Fındıklı, Z., Türkoğlu, Ş., 2010. Glyphos ve DDVP'nin *Allium cepa* L.'da mitoz bölünme ve kromozomlar üzerine etkisi. *C.Ü Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*. 31 (2): 49-62.
- [4]. Buchel, K.H., 1983. *Chemistry of Pesticides*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- [5]. Huffaker, C.B., Van De Vrie, M., McMurtry, J.A., 1970. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review. II. Tetranychid populations and their possible control by predators: an evaluation. *Hilgardia*. 40 (11): 391-458.

- [6]. McMurtry, J.A., Huffaker, C.B. Van De Vrie, M., 1970. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review. I. Tetranychid enemies: their biological characters and the impact of spray practices. *Hilgardia*. 40 (11): 331-390.
- [7]. Jeppson, L.R., Keifer, H.H., Baker, E.W., 1975. Mites injurious to economic plants, University of California Press. ISBN 0-520-02381-1, Berkeley and Los Angeles.
- [8]. Metcalf, R.L., 1980. Changing role of insecticides in crop protection. *Annual Review of Entomology*. 25 (1): 219-256.
- [9]. Helle, W., Sabelis, M.W., 1985a. Spider mites: their biology, natural enemies and control. Vol. 1A, Elsevier, ISBN 0-444-42372-9, Amsterdam, Netherlands.
- [10]. Helle, W., Sabelis, M.W., 1985b. Spider mites: their biology, natural enemies and control. Vol. 1B, Elsevier, ISBN 0-444-42374-5, Amsterdam, Netherlands.
- [11]. Lindquist, E.E., Bruin, J., Sabelis, M.W., 1996. Eriophyoid mites: their biology, natural enemies and control. Elsevier, ISBN 0-444-88628-1, Amsterdam, Netherlands.
- [12]. Zhang, Z.O., 2003. Mites of greenhouses: identification, biology and control. CAB International, ISBN 0-85199-590-X, Wallingford, UK.
- [13]. Van Leeuwen, T., Tirry, L., 2007. Esterase-mediated bifenthrin resistance in a multiresistant strain of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Pest Management Science*. 63 (2): 150-156.
- [14]. Dogan, N., Yazıcı, Z., Şişman, T., Aşkın, H., 2012. Acute toxic effects of fenpyroximate acaricide on Guppy (*Poecilia reticulata* Peters, 1859). *Toxicology and Industrial Health*, 29 (8): 716-21.
- [15]. Doğan, N., Yazıcı, Z., Şişman, T., 2011. Lepistes balığının karaciğeri üzerine Fenpiroksimat akarisitinin biyokimyasal etkileri. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 13 (1): 1-8.
- [16]. Fındık ve Sağlık. <http://www.ftg.org.tr/tr/turk-findigi-findik-ve-saglik.html>, erişim tarihi: 03.10.2016.
- [17]. Blaszcak, D.L., 1989a. Acute oral toxicity study in mice/Test material; Unpublished report No: 5066-88 from bio –dynamics Inc., New Jersey. USA.
- [18]. Yoshioka, T., Kawada, K., Shimada, T., Mori, M., 1979. Lipid peroxidation in maternal and cord blood and protective mechanism against activated-oxygen toxicity in the blood. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 135 (3): 372–376.
- [19]. Beutler, E., Duran, O., Kelley, B.M., 1963. Improved method for determination of blood glutathione. *The Journal of laboratory and clinical medicine*. 61: 882–888.
- [20]. Rekha, S. R., Hamid, S., 2013. Histopathological effects of pesticide-cholopyrifos on kidney in albino rats. *International Journal of Research in Medical Sciences*. 1 (4): 465-475.
- [21]. Al-Amoudi, W.M., 2012. Haematological and biochemical effects of metalaxyl fungicide on albino mice. *American Journal of Biochemistry*. 2 (5): 62-66.
- [22]. Lamfon, H.A., 2011. Protective effect of ginger (*Zingiber officinale*) against metalaxyl induced hepatotoxicity in albino mice. *Journal of American Science*. 7 (6): 1093-1100.
- [23]. Tuncmen, H., Tuzmen, N.M., 2007. Biochemical effects of pesticide contaminated drinking water on lipid peroxidation and free-radical scavenger. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*. 35 (2): 111-116.
- [24]. Matos, H.R., Capelozzi, V.L., Gomes, O.F., Di Mascio, P., Medeiros, M.H., 2001. Lycopene inhibits DNA damage and liver necrosis in rats treated with ferric nitrilotriacetate. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 396 (2): 171-177.
- [25]. Ali, A.R.Z., 2012. Alpha lipoic acid versus N-acetyl cysteine in protection against fenpyroximate induced toxicity in albino rats. *CU Theses*.
- [26]. Bucak, A., Ozdemir, C., Ulu, S., Gonul, Y., Aycicek, A., Uysal, M., Cangal, A., 2015. Investigation of protective role of curcumin against paclitaxel-induced inner ear damage in rats. *The Laryngoscope*. 125 (5): 1175-1182.

- [27].Yaman, T., Yener, Z., Celik, I., 2016. Histopathological and biochemical investigations of protective role of honey in rats with experimental aflatoxicosis. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 16 (1): 232.
- [28].Devi, K.R., Vani, S.S., Reddy, P.P., 2016. Protective Effects of *Solanum lycopersicum* fruit extract in cyclophosphamide induced genotoxicity in germ cells of mice. *Indian Journal of Applied Research*. 5 (10): 67-70.





## Comparative Analysis of Numerical Solutions of Advection-Diffusion Equation

Amin GHAREHBAGHI<sup>1\*</sup>, Birol KAYA<sup>1</sup>, GökmenTAYFUR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Civil Engineering Department, Dokuz Eylül University, 35160, Buca, Izmir, Turkey

<sup>2</sup>Izmir Institute of Technology, Civil engineering Department, Izmir, Turkey

Received: 14.10.2016; Accepted: 13.12.2016

**Abstract.** The advection diffusion equation is one of the most popular and convenient equations in calculating the transport of energy and materials in flux areas. In this paper, one-dimensional advection-diffusion equation is solved using the finite difference, fourth order finite difference, finite volume, and differential quadrature methods in explicit condition. The quantitative comparative analysis involved two hypothetical cases and one experimental study. The results of the numerical solutions for the hypothetical cases are compared against the analytical solution. The experimental data are also simulated by the methods. The comparative analysis results revealed that the differential quadrature method performs as good as the analytical solution for the hypothetical cases. All the methods but the finite difference showed comparable performance in simulating the experimental data.

**Keywords:** Advection-diffusion equation, Numerical methods, Explicit solution

## Taşıyım-Yayıyım Denkleminin Sayısal Çözümlerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi

**Özet.** Taşıyım-yayıyım denklemi, akım alanlarında enerji ve malzemelerin taşıyımının hesaplanmasında kullanılan en popüler ve kullanışlı denklemlerden biridir. Bu makalede, bir boyutlu taşıyım-yayıyım denkleminin, sonlu fark, dördüncü mertebeden sonlu farklar, sonlu hacim ve diferansiyel kuadratür yöntemleri kullanılarak açık çözümleri yapılmıştır. Kantitatif karşılaştırmalı inceleme, iki varsayımsal vaka ile bir deneysel çalışma içermektedir. Varsayımsal vakalar için sayısal çözümlerin sonuçları analitik çözüm ile karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler de yöntemlerle simüle edilmiştir. Karşılaştırmalı inceleme sonuçları, diferansiyel kuadratür yönteminin varsayımsal durumlarda analitik çözüm kadar iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Çözümde kullanılan tüm yöntemler deneysel verilerin simülasyonu için karşılaştırmaya değer performans göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Taşıyım-yayıyım denklemi, Sayısal yöntemler, Açık çözüm

### 1. INTRODUCTION

The solution of advection diffusion equation (ADE) is necessary in a variety of fields, including but not limited to the transport of heat, sediment, ground water and surface flow pollutant. Many researchers like, Harleman and Rumer [1], Givanasen and Volker [2], Marshall *et al.* [3], Banks and Ali [4], Lai and Jurinak [5], Al-Niami and Rushton [6], and Jaiswal *et al.* [7], tried to find analytical solution of ADE. Most of the solutions by these researchers have been obtained by using the Laplace transformation technique. In this field, many researchers like Raje and Kapoor [8] beside development of numerical solutions had many experimental studies.

Calhoun and LeVeque [9] presented a finite volume algorithm for a fully conservative, high-resolution ADE in irregular geometries. In order to model the fact that some cells are only partially available for the fluid phase, they used capacity functions. Guo and Wang [10] derived the finite difference methods (FDM) by second- and third-order accuracy to solve the convection-diffusion equation and applied a counter-error mechanism to reduce numerical dispersion. Younes and Ackerer [11] proposed a solution method by using the Eulerian-Lagrangian localized adjoint method on unstructured meshes and non-

\* Corresponding author. Email address: gharehbaghi.amin@gmail.com

## Comparative Analysis

uniform time stepping. Tian and Dai [12] developed a high-order compact exponential FDM for solving one- and two-dimensional (1D and 2D) steady-state cases of the equation. Hongxing [13] applied finite volume element method for solving the transport in 2Ds. In discretization, he used quasi-uniform triangular elements and piecewise linear element method. Ponsoda *et al.* [14] introduced a modified space-time conservation element while Kaya [15] solved the equation by differential quadrature method (DQM). Gopaul *et al.* [16] investigated three methods for solving the 1D case: 1) The Krylov subspace method, 2) Restrictive Taylor's approximation and 3) Chebyshev pseudospectral collocation. Revelli and Rudolfi [17], gave the generalized collocation method for the linear and nonlinear models. Hermeline [18] proposed a new version finite volume method (FVM) for approximating convection diffusion equations. Karatay and Bayramoglu [19] have extended the Crank-Nicholson difference scheme to solve the time-fractional advection-dispersion equation. Savovic and Djordjevich [20] used explicit scheme of FDM to discretize the 1D ADE with variable coefficients in semi-infinite media. In this research, they assumed initial solute concentration that was a decreasing function of distance and uniform pulse-type input condition. Kaya and Gharehbaghi [21] numerically investigated the performance of several numerical techniques by ADE. In this research, the implicit approach of DQM showed the best results. Korkmaz and Dağ [22] proposed the fourth and fifth degree of B-spline DQM to solve the ADE. To evaluate the developed methods, two initial-boundary value problems modeling the transportation of a concentration and distribution of an initial pulse were used. Gao and Sun [23] suggested a high-order accurate three-point combined compact difference scheme with the L1 formula to solve a class of time-fractional ADEs. The suggested method by them was  $(2-\gamma)$  th-order accurate in time and at least fifth-order accurate in space for the constant coefficient time-fractional ADEs subject to periodic boundary conditions ( $\gamma$  was the order of time-fractional derivative in the governing equation). Gharehbaghi [24] employed explicit and implicit forms of DQM to solve the 1D time-dependent ADE with variable coefficients in semi-infinite domain for two dispersion problems: (i) solute dispersion along steady flow through inhomogeneous domain, and (ii) solute dispersion along temporally dependent unsteady flow through inhomogeneous domain. Both of the approaches used in this research were presented good agreement with analytical solutions.

As summarized above, different studies employed different numerical methods, and therefore there is no single study to the best knowledge of the authors that compares the performance of the numerical methods in explicit conditions against the analytical and experimental data sets. The key purpose of this article is to provide a numerical model to compare the performance of some traditional techniques (e.g., FDM, FVM) with one of the almost new developed numerical methods (DQM) in explicit conditions.

## 2. NUMERICAL SOLUTIONS of ADVECTION-DIFFUSION EQUATION (ADE)

The 1D unsteady ADE is given by

$$\frac{\partial f}{\partial t} + A \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial f}{\partial x} \right) \quad (1)$$

where;  $f$  refers to unknown component that change according to physical problem (concentration, flow rate, depth, mass, heat, etc.),  $x$  is space and  $t$  is time independent variables.  $A$  is advection coefficient, which can be velocity in the case of pollutant transport and  $D$  is the diffusion coefficient.

There are several type of boundary conditions, depends to the type of problem, could apply by users. In this essay, authors selected Cell-face type boundary conditions that applied in the inlet and outlet node points.

The initial and boundary conditions for Eq. (1) can be stated as follows:

$$f(x, 0) = F(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (2a)$$

$$f(0, t) = F_0(t), \quad 0 < t \leq T, \quad (2b)$$

$$f(1, t) = F_1(t), \quad 0 < t \leq T. \quad (2c)$$

This problem is solved by different numerical methods that are briefly described in the next section. All of the methods that applied in this essay used explicit scheme. Therefore, these methods must be able to satisfy stability condition. In this research, authors applied Courant number for testing the stability condition. In ADE two types of Courant number must be considered:

$$C_{adv} = \frac{\delta t \times |A|}{\delta x} \leq 1, \quad C_{dif} = \frac{\delta t \times |D|}{\delta x^2} \leq 1 \quad (3)$$

where  $C_{adv}$  is Courant number of advection and  $C_{dif}$  Courant number of diffusion. Moreover, in order to test the transportiveness property of a fluid flow authors determined the value of Peclet number. This number defined as a ratio of advection coefficient to the diffusion ones.

$$P_e = \frac{A}{D/\delta x} \quad (4)$$

where  $\delta x$  is the characteristic length or width of cell. The meaning of this number is given as below

If  $P_e$  approaches to zero ( $P_e \rightarrow 0$ ) it means convection and pure diffusion

If  $P_e$  approaches to infinite ( $P_e \rightarrow \infty$ ) it means diffusion and pure convection

## 2.1. Finite Difference Method (FDM)

In this method, we used the forward difference scheme for the first derivative and the central difference scheme for the second derivative (Wu [25]).

$$\text{Forward difference scheme} \quad \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} \quad (5)$$

$$\text{Central difference scheme} \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}}{\Delta x^2} \quad (6)$$

The final form of the numerical solution by FDM is given below

$$u_i^{t+1} = \Delta t \left( -A \frac{u_{i+1}^t - u_i^t}{\Delta x} + D \frac{u_{i-1}^t - 2u_i^t + u_{i+1}^t}{\Delta x^2} \right) + u_i^t. \quad (7)$$

## 2.2. Fourth Order Finite Difference Method (FOFDM)

In order to catch the high order accuracy of numerical discretization, it could be selected more grid points in the difference formulation. Thus, in this method, to obtain a more accurate solution, a five-point symmetric difference scheme is employed as follows:

$$\text{Derivation of first-order accurate in time} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_i^{t+1} - u_i^t}{\Delta t} \quad (8)$$

and the first and second derivations of five-point symmetric difference scheme are

$$\left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_i = \frac{u_{i-2} - 8u_{i-1} + 8u_{i+1} - u_{i+2}}{12\Delta x} + o(\Delta x^4), \quad (9)$$

$$\left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_i = \frac{-u_{i-2} + 16u_{i-1} - 30u_i + 16u_{i+1} - u_{i+2}}{12\Delta x^2} + o(\Delta x^4), \quad (10)$$

By substituting equations (8, 9 and 10) in ADE, the final form of this equation yields

$$u_i^{t+1} = \Delta t \left( -A \frac{u_{i-2}^t - 8u_{i-1}^t + 8u_{i+1}^t - u_{i+2}^t}{12\Delta x} + D \frac{-u_{i-2}^t + 16u_{i-1}^t - 30u_i^t + 16u_{i+1}^t - u_{i+2}^t}{12\Delta x^2} \right) + u_i^t \quad (11)$$

### 2.3. Finite Volume Method (FVM)

In this method; the central difference scheme is used:

$$u_s = \frac{u_P + u_E}{2} \quad (12a)$$

$$u_w = \frac{u_P + u_W}{2} \quad (12b)$$

“The key step of the finite volume method is the integration of the governing equation over a control volume to yield a discretized equation at its nodal point  $P$ ” [26].

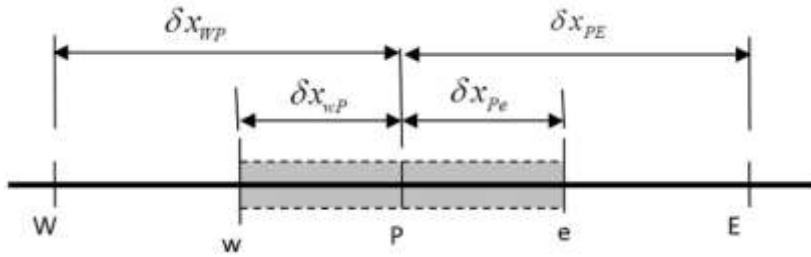
$$\int_t^{t+\Delta t} \int_{CV} \frac{\partial u}{\partial t} \cdot dV \cdot dt + \int_t^{t+\Delta t} \int_{CV} \frac{\partial u}{\partial x} \cdot A \cdot dV \cdot dt = \int_t^{t+\Delta t} \int_{CV} D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \cdot dV \cdot dt \quad (13)$$

$$(u_P^{t+1} - u_P^t) \Delta V = -A \cdot \Delta t \left( L_s \frac{u_P^t + u_E^t}{2} - L_w \frac{u_P^t + u_W^t}{2} \right) + D \cdot \Delta t \left( L_s \cdot \frac{u_E^t - u_P^t}{\Delta x_{PE}} - \left( L_w \cdot \frac{u_P^t - u_W^t}{\Delta x_{PW}} \right) \right) \quad (14)$$

Where node  $P$  is the place where the variable of interest is computed by using values at the east ( $e$ ) and west ( $w$ ) interfaces. The distance between the nodal points is  $\partial x$ , and  $L$  is the cross sectional area of face of the control volume. Because the cross sectional areas in east and west are same so it can be written  $L_e = L_w = L$  and by divide the left- and right-hand sides of the equation (14) and by some manipulation, finally the numerical solution of ADE by FVM is given as below

$$u_P^{t+1} = -\frac{A \Delta t}{2 \Delta x} (u_E^t - u_W^t) + \frac{D \Delta t}{\Delta x^2} ((u_E^t - u_P^t) - (u_P^t - u_W^t)) + u_P^t \quad (15)$$

The scheme is schematically presented in Fig.1.



**Figure 1.** Schematic representation of finite volume scheme [26, 27]

### 2.4. Differential Quadrature Method (DQM)

This numerical method was proposed by Bellman and Casti [28]. The main idea of this method comes from Gauss Quadrature method. Its basic idea is to approximate a definite integral with a weighted sum of integrand values at a group of nodes in the form:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \sum_{j=1}^N w_j f(x_j) \quad (16)$$

Where  $x_j$  ( $j=1,2,\dots,N$ ) are nodes and  $w_j$  are weighting coefficients. They are determined by solving a system of linear equations [29]:

$$a_{ij} = \frac{1}{(x_j - x_i)} \prod_{k=1, k \neq i, j}^N \frac{x_i - x_k}{x_j - x_k} \quad i, j = 1, 2, \dots, N, \quad i \neq j \quad (17a)$$

$$a_{ii} = -\sum_{j=1, j \neq i}^N a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (17b)$$

$$b_{ij} = 2 \left[ a_{ij} a_{ii} - \frac{a_{ij}}{x_j - x_i} \right] \quad i, j = 1, 2, \dots, N, \quad i \neq j \quad (18a)$$

$$b_{ii} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N b_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (18b)$$

In order to calculate the location of the estimate points; various methods can be used. Generally, these methods can be classified under two groups: (1) Equal intervals and (2) Non-equal intervals. For non-equal intervals, many researchers suggest various methods like Chebyshev or normalization of the routes of Legendre polynomial. In this study; Chebyshev node definition is applied to solve the ADE as:

$$x_i = x_1 + \frac{1}{2} (1 - \cos \frac{i-1}{N-1} \pi) (x_n - x_1) \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (19)$$

$$\frac{u_j^t - u_j^{t-\Delta t}}{\Delta t} = -A \sum_{j=1}^N a_{ij} u_j^{t-\Delta t} + D \sum_{j=1}^N b_{ij} u_j^{t-\Delta t}, \quad (20)$$

$$u_j^t = -\Delta t \cdot A \sum_{j=1}^N a_{ij} u_j^{t-\Delta t} + \Delta t \cdot D \sum_{j=1}^N b_{ij} u_j^{t-\Delta t} + u_j^{t-\Delta t}, \quad (21)$$

### 3. COMPARATIVE ANALYSIS of THE NUMERICAL METHODS

In order to solve the numerical methods, two hypothetical cases and one experimental study have been applied. It is worth pointing out that the required codes written in MATLAB. The feature of computer, that authors used to solve these four numerical methods, was RAM 4GB and CPU 2.40GHz.

#### 3.1. Hypothetical Case 1:

Hypothetical Case-1 was taken from Dehghan [30]. The initial and boundary conditions for this case are given as follows:

$$u(x, 0) = \exp \left( - \frac{(x+0.5)^2}{0.00125} \right), \quad (22a)$$

$$u(0, t) = \frac{0.025}{\sqrt{0.000625+0.02t}} \exp \left( - \frac{(0.5-t)^2}{(0.00125+0.04t)} \right), \quad (22b)$$

$$u(1, t) = \frac{0.025}{\sqrt{0.000625+0.02t}} \exp \left( - \frac{(1.5-t)^2}{(0.00125+0.04t)} \right). \quad (22c)$$

The exact solution for the case 1 is given as:

$$u(x, t) = \frac{0.025}{\sqrt{0.000625+0.02t}} \exp \left( - \frac{(x+0.5-t)^2}{(0.00125+0.04t)} \right), \quad (23)$$

where  $A=1.0$  and  $D=0.01$ .

In Figures 2a, and 2b the illustration of errors for the four numerical methods (FDM, FOFDM, FVM and DQM) are presented, according to the analytical solution. The values of errors are calculated by:

$$E = (E_n - E_a)/E_{nmax} \quad (24)$$

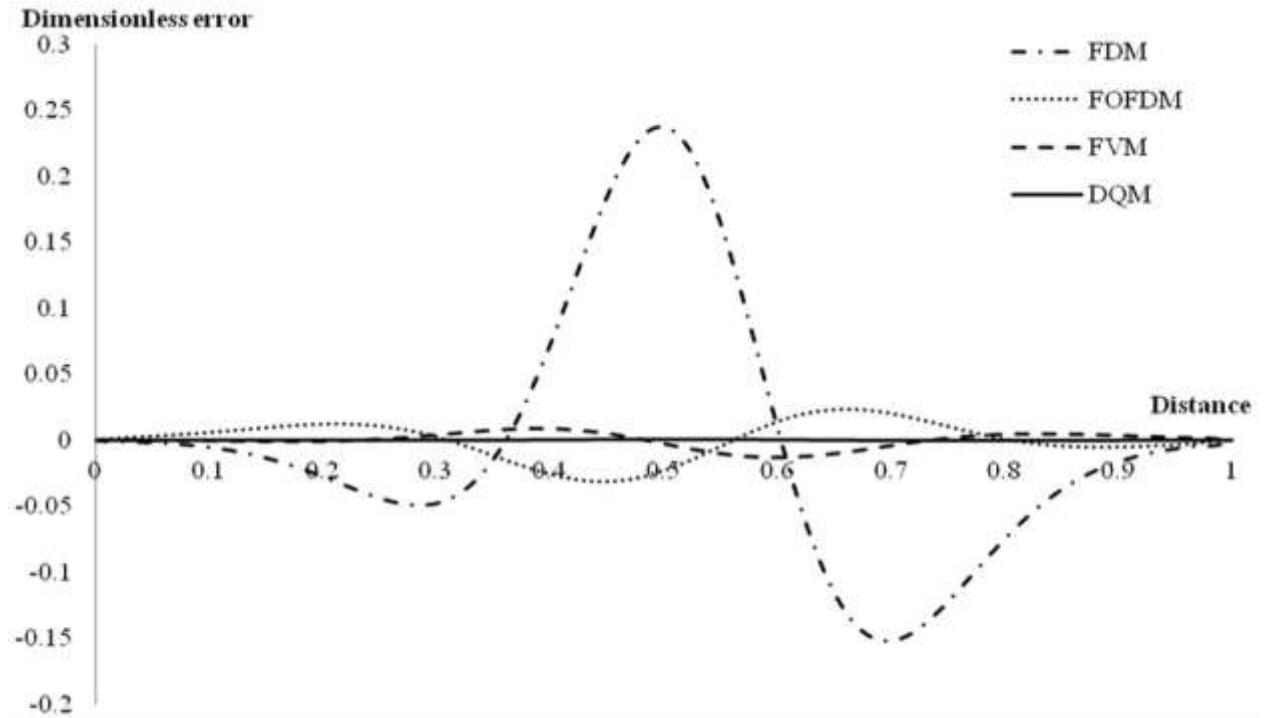
where  $E$  refers to calculated error,  $E_n$  refers to values of numerical methods,  $E_a$  refers to value of analytical solution and  $E_{nmax}$  refers to maximum value of numerical methods. Meanwhile, to assess the performance of numerical techniques the values of root mean square errors (RMSE) are determined by the following equation:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (u_{Numerical\ solution} - u_{exact\ solution})^2}{N}} \quad (25)$$

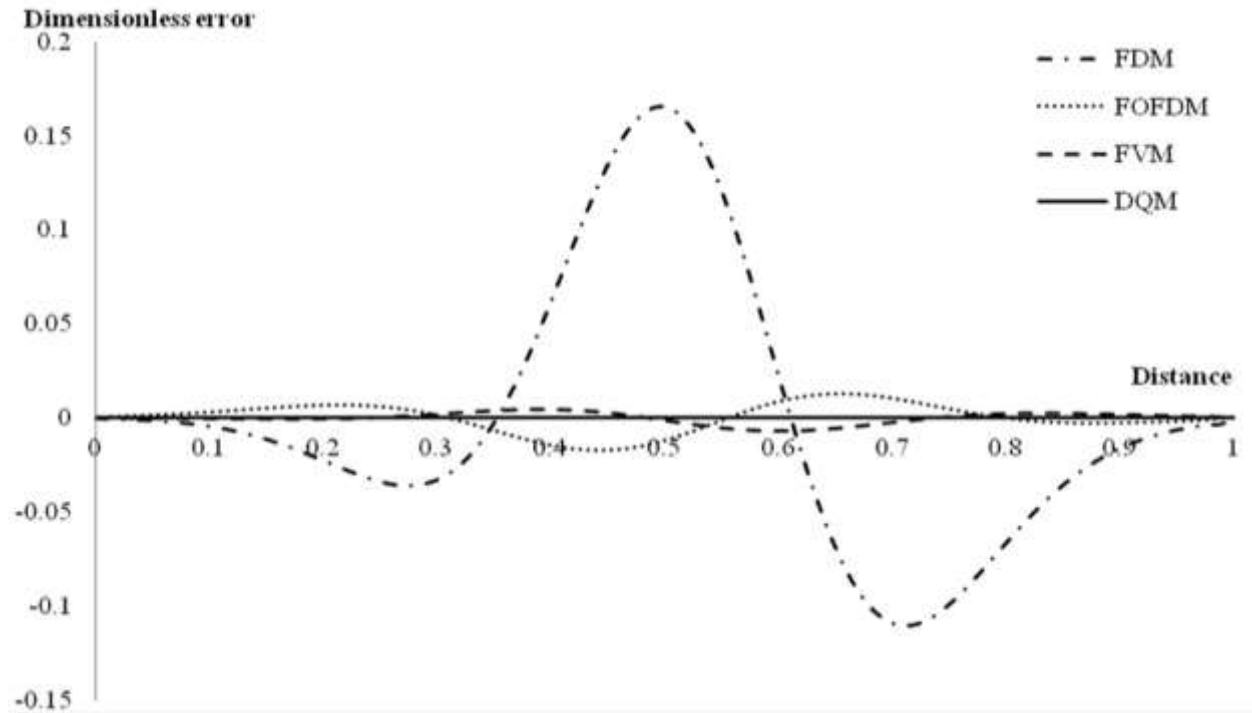
The absolute values of maximum errors and RMSEs are calculated for three nodal points and three time steps, as presented in Table 1a. Moreover, in order to illustrate the stability condition the values of

## Comparative Analysis

Courant Numbers calculated and given in Table 1b. Finally, in order to test the transportiveness property of a fluid flow, Peclet number calculated and given in Table 1c.



**Figure 2a.** Errors between DQM, FOFDM, FVM, DQM and Exact Solution Results at 60 node points and 60000 time steps.



**Figure 2b.** Errors between DQM, FOFDM, FVM, DQM and Exact Solution Results at 80 node points and 60000 time steps.

**Table 1a.** The absolute values of maximum errors and RMSEs

Node points	Time Steps	FDM	RMSE of FDM	Required Time (second)	FOFDM	RMSE of FOFDM	Required Time (second)	FVM	RMSE of FVM	Required Time (second)	DQM	RMSE of DQM	Required Time (second)
60	40000	0.054146	0.0218455	0.94023	0.005391	0.0041988	1.028461	0.002197	0.000941	0.944058	5.28E-05	1.972E-05	6.644019
60	50000	0.05412	0.0218359	1.106488	0.005397	0.0041986	1.215964	0.002202	0.0009424	1.116392	4.23E-05	1.577E-05	8.270937
60	60000	0.054103	0.0218295	1.330053	0.005401	0.0041986	1.465799	0.002205	0.0009433	1.345084	3.52E-05	1.314E-05	9.889595
70	40000	0.042131	0.0175104	1.042263	0.003903	0.0033074	1.219456	0.001603	0.0006879	1.045779	5.28E-05	1.974E-05	8.801655
70	50000	0.04211	0.0175021	1.282557	0.00391	0.0033073	1.399477	0.001608	0.0006892	1.284398	4.22E-05	1.579E-05	11.003227
70	60000	0.042096	0.0174965	1.549135	0.003915	0.0033072	1.826763	0.001612	0.0006901	1.567717	3.52E-05	1.316E-05	13.186507
80	40000	0.034627	0.0146424	1.182101	0.002943	0.0026876	1.290617	0.001221	0.000524	1.201279	5.28E-05	1.976E-05	11.273736
80	50000	0.034608	0.0146348	1.386789	0.00295	0.0026876	1.546488	0.001225	0.0005253	1.394785	4.22E-05	1.581E-05	14.030186
80	60000	0.034596	0.0146298	1.671661	0.002954	0.0026875	1.855496	0.001227	0.0005262	1.692852	3.52E-05	1.317E-05	16.801442

**Table1b.** Courant Number.

Node points	Time Steps	Cadv	Cdif
60	40000	0.0015	1.5000e-05
60	50000	0.0012	1.2000e-05
60	60000	0.001	1.0000e-05
70	40000	0.0018	1.7500e-05
70	50000	0.0014	1.4000e-05
70	60000	0.0012	1.1667e-05
80	40000	0.002	2.0000e-05
80	50000	0.0016	1.6000e-05
80	60000	0.0013	1.3333e-05

**Table1c.** Peclet Number.

Node points	60	70	80
Peclet Number	6000	7000	8000

As seen in Figures 2a, 2b and in Tables 1a, 1b, and 1c the FDM performs poorly. DQM gives the best results followed by the numerical solutions by FVM and FOFDM. Because of the explicit solution and the main concept of DQM (in any step of solution, the value at a point is under effect by all of other nodal points), this method seems more sensitive to the time steps than other numerical methods. By comparing the values in Table 1a, it can be seen that the results of DQM for the least sensitive of calculations (60 nodal points and 40000 time steps) are better than the numerical results of other methods in the maximum sensitive of calculations (80 nodal points and 60000 time steps). Among others, the DQM method requires more CPU time for the solution. This is because; DQM considers all the weighting coefficients of all the nodes simultaneously at each time step. FVM is the most effective in terms of the CPU time.

### 3.2. Hypothetical Case 2:

Hypothetical Case 2 was also taken from Dehghan [31], where the initial and boundary conditions are given as follows:

$$u(x, 0) = \exp\left[-\frac{(x-2)^2}{8}\right], \tag{26a}$$

$$u(1, t) = \sqrt{\frac{20}{20+t}} \exp\left[-\frac{(5+4t)^2}{10(t+20)}\right], \tag{26b}$$

## Comparative Analysis

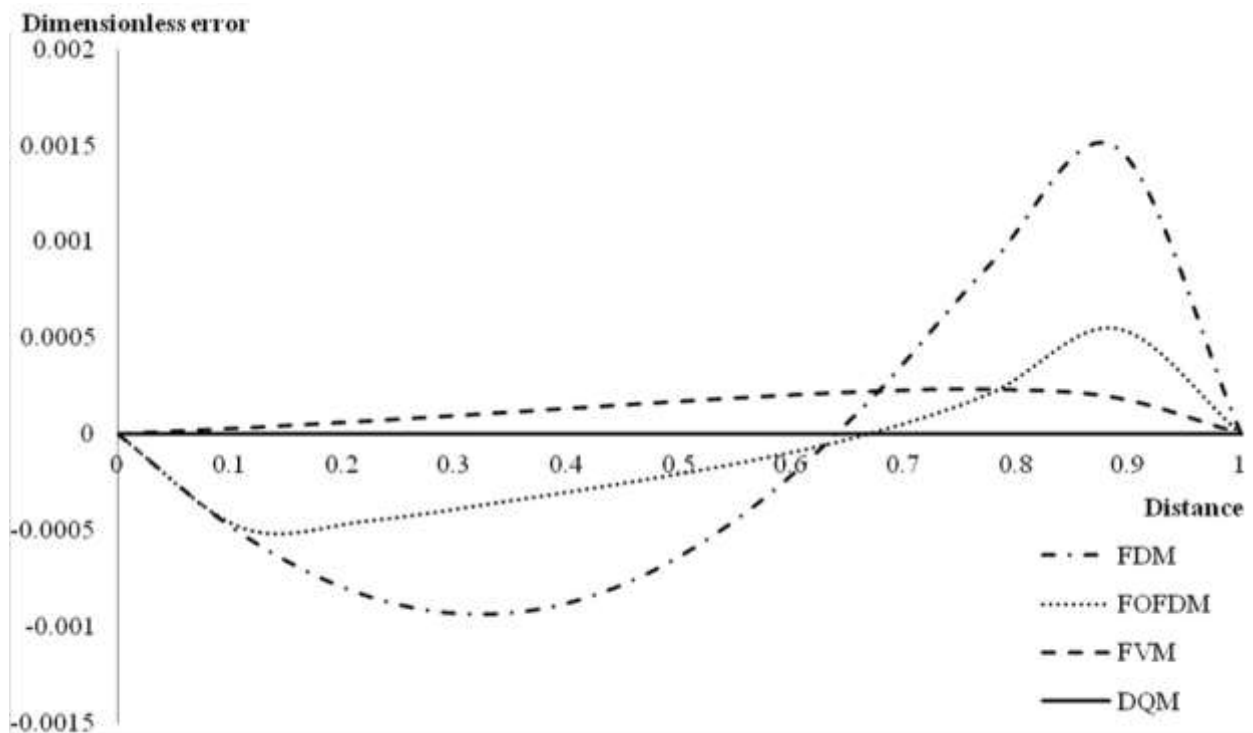
$$u(0, t) = \sqrt{\frac{20}{20+t}} \exp \left[ -\frac{2(5+2t)^2}{5(t+20)} \right]. \quad (26c)$$

The exact solution for the case 2 is given as:

$$u(x, t) = \sqrt{\frac{20}{20+t}} \exp \left[ -\frac{(x-2-0.8t)^2}{0.4(t+20)} \right] \quad (27)$$

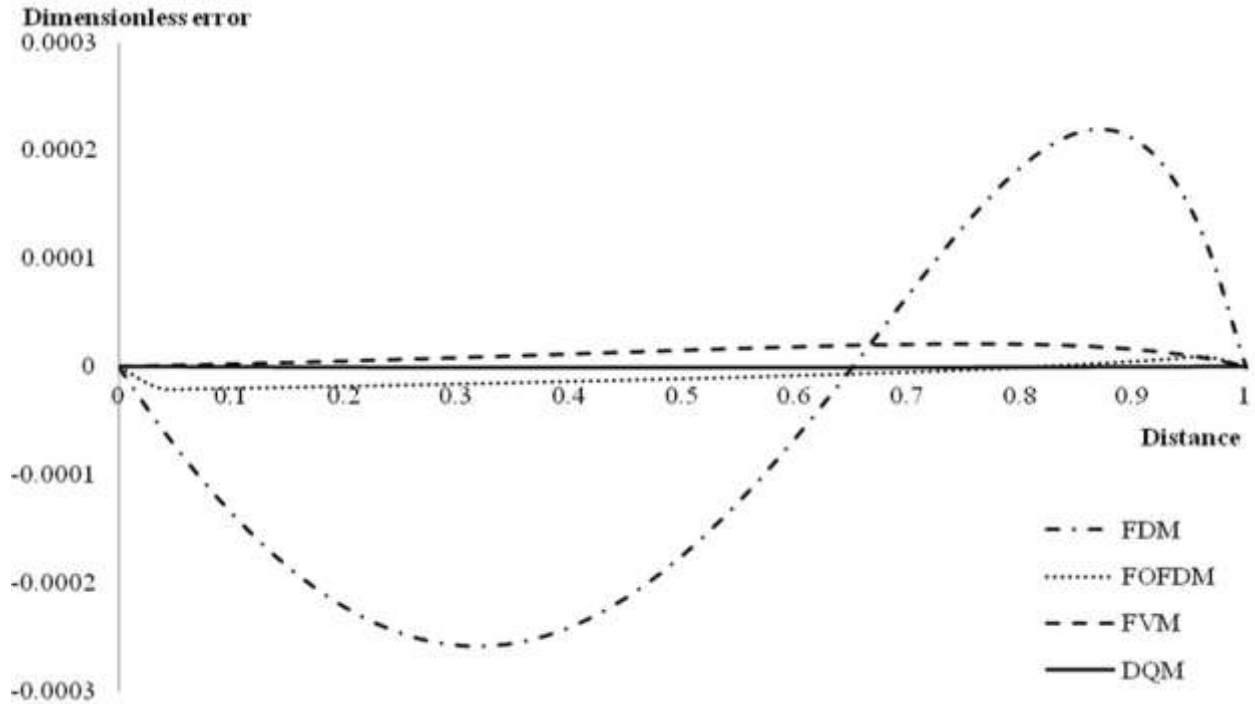
where  $A=0.8$  and  $D=0.1$ .

The errors of FDM, FOFDM, FVM and DQM for two different nodal points and time steps (10x2000 and 30x10000) are presented in Fig.3a and 3b. The absolute value of maximum errors and RMSEs for various nodal points and time steps are summarized in Table 2a. Also the values of calculated Courant numbers and Peclet Numbers are yields in Tables 2b and 2c.



**Figure 3a.** Errors between DQM, FOFDM, FVM, DQM and Exact Solution Results at 10 node points and 2000 time steps.





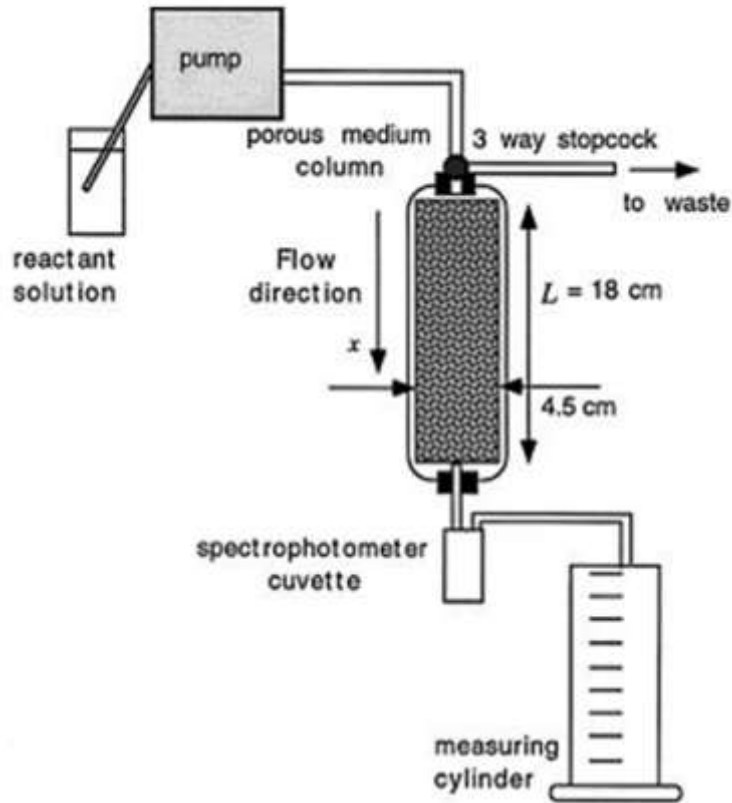
**Figure 3b.** Errors between DQM, FOFDM, FVM, DQM and Exact Solution Results at at 30 node points and 10000 time steps.

As seen in Figures 3a,3b and Tables 2a,2b, and 2c DQM performs better than the others. The DQM is followed by FVM and FOFDM while FDM shows poor performance. In this hypothetical case the time domain divided into small number, so there is not any remarkable different in the values of required time but still DQM needs more required time in compare with another method. Even for the minimum number of nodal points and maximum time steps (10x2000), DQM shows better results than other numerical methods (see Table 2a).

#### 4. EXPERIMENTAL STUDY

The data of experimental study were taken from Raje and Kapoor [8]. In their experimental research, they used glass beads to represent the porous medium microstructure. The dimension of glass column that shows the porous domain is 18 cm in length and 4.5 cm in diameter. Researchers selected all of the beads in same radius (1.5 mm) to represent the uniform domain. Thus, they could focus on the nonlinear kinetics transformation of chemical material in a porous media flow. The setup of that study is shown in Figure 4.

## Comparative Analysis



**Figure 4.** Experimental setup for studying reactive transport in a porous medium [8].

The initial and boundary conditions for the experimental study are given as:

$$\text{Initial concentration } c(x,0) = 0$$

$$\text{Boundary concentration } c(1,t) = 0.25 \text{ mM}$$

where the values of dispersivity  $\alpha = 0.33$  cm, seepage velocity  $v = 0.07$  cm/s sampling time = 510 s and advection coefficient is  $A = v$ . It is important to note that in this experimental study,  $D$  denote the hydrodynamic dispersion coefficient of the solute and defined by  $D = \alpha v$ .

The comparison of measurements and numerical solution are given in the Figures 5a and 6b for 30 and 40 node points, respectively. Also, the figures of calculated errors for two cases are presented in Figures 5b and 6b.

According to the results in Figures 5a, b and 6a, b, DQM and FOFDM produced less errors, followed by FVM. The FDM performs poorly.

The required time for calculate these numerical solutions at 40 node points and 15000 time steps are given in Table 3a.

Finally, the values of Courant numbers and RMSEs for testing stability conditions and compare the results are given in table 3b and the values of Peclet Number, in order to test the transportiveness property of a fluid flow, are given in table 3c.

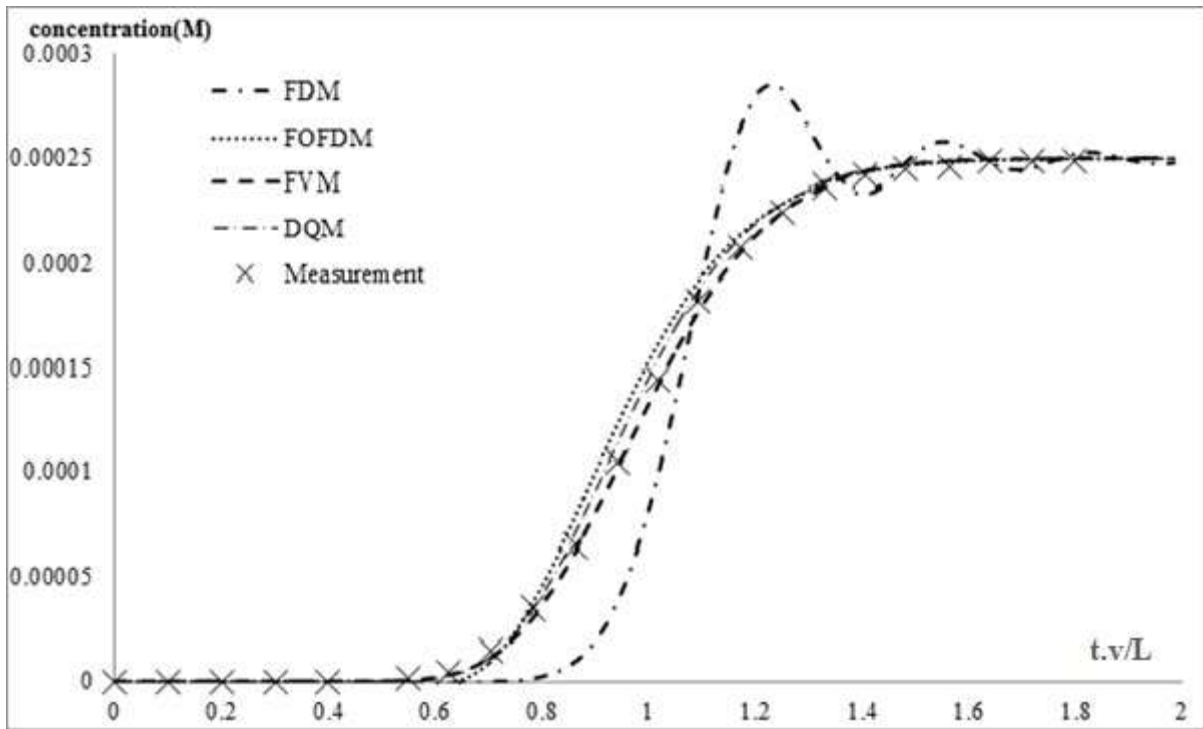


Figure 5a. Results of DQM, FOFDM, FVM, DQM and Measurement at 30 node points and 7500 time steps

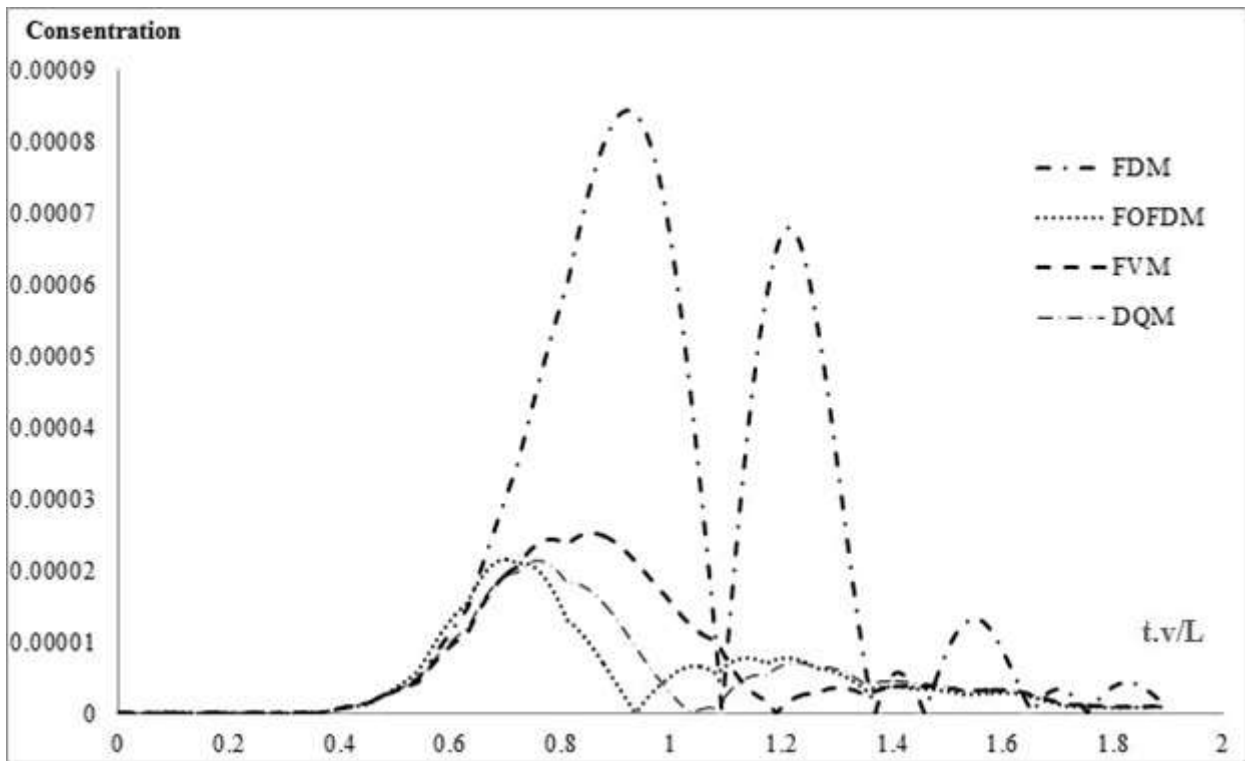
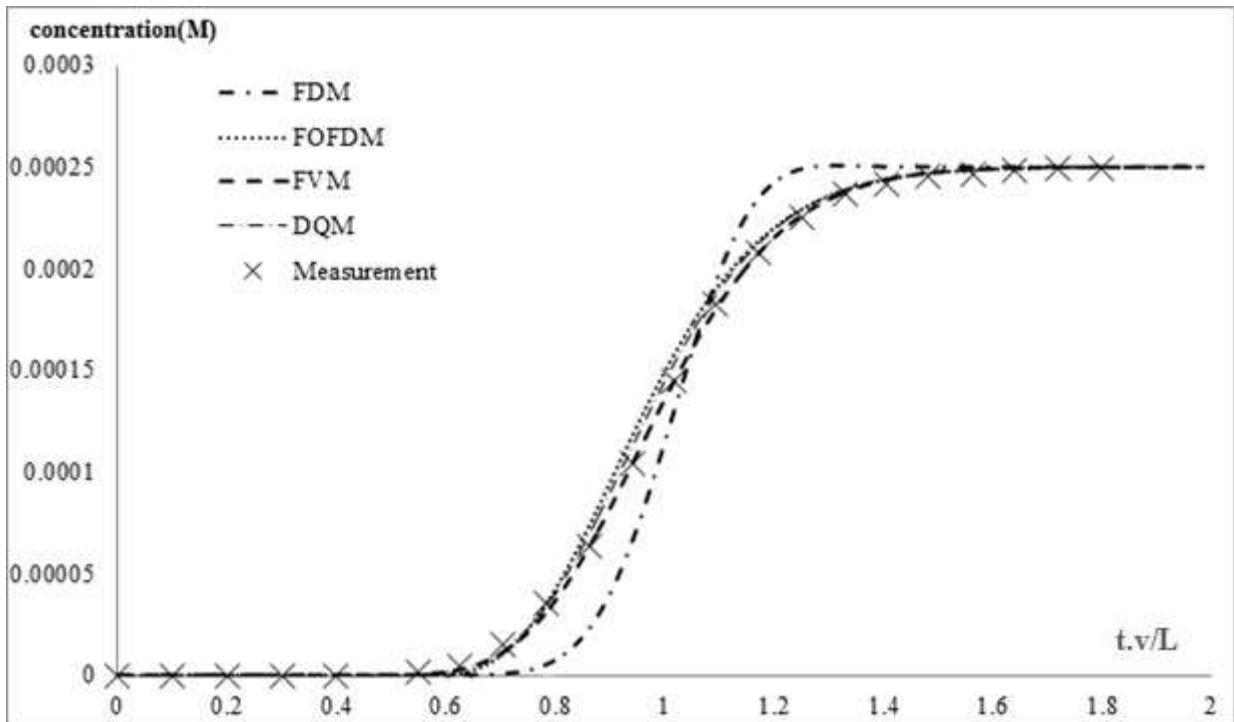
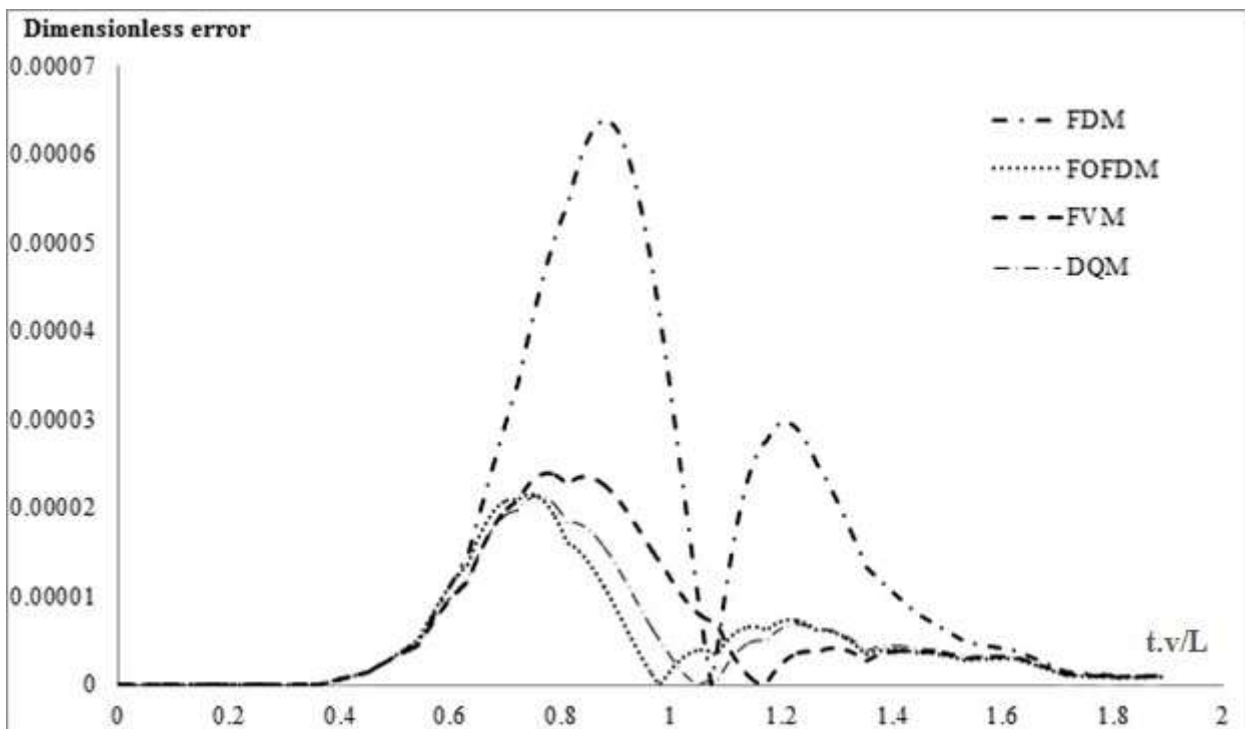


Figure 5b. Errors between DQM, FOFDM, FVM, DQM at 30 node points and 7500 time steps and measurement Results

## Comparative Analysis



**Figure 6a.** Results of DQM, FOFDM, FVM, DQM and Measurement at 40 node points and 15000 time steps



**Figure 6b.** Errors between DQM, FOFDM, FVM, and DQM at 40 node points and 15000 time steps and measurement results

**Table 3a.** Table of Required Time for numerical methods

Required Time for FDM (second)	Required Time for HighOrderFDM (second)	Required Time for FVM (second)	Required Time for DQM (second)
1.156109	1.094068	1.080752	2.107362

**Table3b.** Courant Number and values of RMSEs

Node points	Time steps	Cadv	Cdif	RMSE of FDM	RMSE of FOFDM	RMSE of FVM	RMSE of DQM
30	7500	0.0013	9.2400e-05	3.36917E-05	7.55322E-06	1.0203E-05	7.86351E-06
40	15000	8.8000e-04	6.1600e-05	2.33891E-05	7.64722E-06	9.51805E-06	7.88264E-06

**Table 3c.** Peclet Number

Node points	30	40
Peclet Number	428.5714	571.4286

## 5. CONCLUSIONS

In this paper, the general ADE is solved by four different numerical methods. The comparative analysis was carried out by using two hypothetical cases, one experimental study, and the analytical solution as a benchmark.

The comparative analysis results revealed that DQM is reliable. Results of DQM are more close to those of the analytical solution. Finite volume and fourth order finite difference methods are also found to be reliable (Tables 1a,2a and 3a). In the experimental study, DQM and FOFDM results are compatible. Yet, the FDM shall be used with caution since it produced poor results for the hypothetical and experimental cases. By considering the required time of these four numerical solutions, it takes more time for the DQM, which can produce good approximation under small spacing step. Overall it can be concluded that, FVM is more efficient numerical solution method for the solution of the advection diffusion equation.

## REFERENCES

- [1] Harleman, D.R.F., Rumer, R.R., Longitudinal and lateral dispersion in an isotropic porous medium. *Journal of Fluid Mechanics*, 1963; 16(3): 385- 394.
- [2] Guvanasen,V., Volker, R. E., Experimental investigations of unconfined aquifer pollution from recharge basins. *Water Resources Research*, 1983; 19(3): 707-717.
- [3] Marshall, T. J., Holmes, J. W., Rose, C. W., *Soil Physics*, third ed., Cambridge University Press, Cambridge(1996)
- [4] Banks, R. Ali, J., Dispersion and adsorption in porous media flow, *Journal of Hydraulic Division*, 1964; 90(5): 13-31.
- [5] Lai S.H., Jurinak, J.J., Numerical approximation of cation exchange in miscible displacement through soil columns. *Soil Science Society American Proceeding*, 1971; 35(6): 894-899.
- [6] Al-Niami, A.N.S. Rushton, K.R., Analysis of flow against dispersion in porous media. *journal of hydrology*, 1977; 33(1-2): 87-97.

## Comparative Analysis

- [7] Jaiswal, D.K., Kumar, A., Yadav, R.R., Analytical solution to the one-dimensional advection-diffusion equation with temporally dependent coefficients. *Journal of Water Resource and Protection*, 2011; 3: 76-84.
- [8] Raje, D.S., Kapoor, V., Experimental study of bimolecular reaction kinetics in porous media. *Environmental Science & Technology*, 2000; 3: 1234-1239.
- [9] Calhoun, D. LeVeque R.J., A cartesian grid finite-volume method for the advection-diffusion equation in irregular geometries. *Journal of Computational Physics*, 2000; 157: 143-180.
- [10] Guo, B., Wang, X., Testing of new high-order finite difference methods for solving the convection-diffusion equation. *E-Journal of Reservoir Engineering*, 2005; 1-14.
- [11] Younes, A., Ackerer, P., Solving the advection-diffusion equation with the Eulerian-Lagrangian localized adjoint method on unstructured meshes and non-uniform time stepping. *Journal of Computational Physics*, Elsevier, 2005; 208(1): 384-402.
- [12] Tian, Z.F., Dai, S.Q., High-order compact exponential finite difference methods for convection-diffusion type problems. *Journal of Computational Physics*, 2007; 220(2): 952-974.
- [13] Hongxing, R., A conservative characteristic finite volume-element method for solution of the advection-diffusion equation. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2008; 197: 3862-3869.
- [14] Ponsoda, E, Defez , E., Roselló M. D., Romero, J.V., A stable numerical method for solving variable coefficient advection-diffusion models. *Journal Computers & Mathematics with Applications*, 2008; 56 (3): 754-768.
- [15] Kaya, B., Solution of the advection diffusion equation using the differential quadrature method. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2010; 14(1): 69-75.
- [16] Gopaul, A., Cheeneebash, J., Baurhoo, K., A comparison of recent methods for solving a model 1D convection diffusion equation. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011; 57: 59-63.
- [17] Revelli, R., Ridolfi, L., Generalized collocation method for two-dimensional reaction-diffusion problems with homogeneous Neumann boundary conditions. *Computers and Mathematics with Applications*, Elsevier, 2008; 56(9): 2360-2370.
- [18] Hermeline, F., A finite volume method for the approximation of convection–diffusion equations on general meshes. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2012; 91(12): 1331-1357.
- [19] Karatay, I., Bayramoglu, S.R., An efficient difference scheme for time fractional advection dispersion equations. *Applied Mathematical Sciences*, 2012; 6(98): 4869- 4878.
- [20] Savovic, S., Djordjevich, A., Numerical solution for temporally and spatially dependent solute dispersion of pulse type input concentration in semi-infinite media, *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013; 60: 291-295.
- [21] Kaya, B., Gharehbaghi, A., Implicit solutions of advection diffusion equation by various numerical methods. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, 2014; 8(1): 381-391.
- [22] Korkmaz, A., Dağ, I., Quartic and quintic B-spline methods for advection–diffusion equation, *Applied Mathematics and Computation*, 2016; 274: 208-219.
- [23] Gao, G.-H. Sun H.-W. Three-point combined compact difference schemes for time-fractional advection–diffusion equations with smooth solutions. *Journal of Computational Physics*, 2015; 298: 520–538.
- [24] Gharehbaghi, A., Explicit and implicit forms of differential quadrature method for advection–diffusion equation with variable coefficients in semi-infinite domain. *Journal of Hydrology*, 2016; 541: 935–940.
- [25] Wu, W., *Computational river dynamics*, Taylor & Francis, London, (2007).
- [26] Versteeg, H.K., Malalasekera, W. *An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method*, 1th ed. Longman scientific & technical, New York, (1995).

- [27] Kaya, B., Gharehbaghi, A., Modelling of sediment transport with finite volume method under unsteady conditions. *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, 2012; 27: 827–836.
- [28] Bellman, R. Casti, J., Differential quadrature and long-term integration. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 1971; 34(2): 235-238.
- [29] Zong, Z., Zhang, Y., *Advance differential quadrature methods*, Taylor & Francis, Boca Raton. (2009)
- [30] Dehghan, M., Weighted finite difference techniques for the one dimensional advection diffusion equation. *Applied Mathematics and Computation*, 2004; 147(2): 307-319.
- [31] Dehghan, M., On the numerical solution of the one-dimensional convection diffusion equation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2005; 1: 61-74.



<http://dx.doi.org/10.17776/csj.54969>

## Evaluating the Production of Doubled Haploid Wheat Lines Using Various Methods of Wheat and Maize Crossing to Develop Heat-Tolerant Wheat Varieties

Tayebeh BAKHSI<sup>1</sup>, Reza BOZORGIPOUR<sup>2\*</sup>, Farajollah SHAHRIARI-AHMADI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D Student, Department of Crop Biotechnology and Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran

<sup>3</sup>Professor, Department of Crop Biotechnology and Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received: 28.11.2016; Accepted: 16.02.2017

**Abstract.** In this study, chromosome elimination method was used to develop doubled haploid wheat lines via crosses with maize. The plant materials used included 11, F1 wheat genotypes and maize genotype BC572. In these crosses, the maize plant was used as the male parent. Three methods of haploid production in wheat comprising conventional (A), detached-tiller culture (B) and intermediate (C) techniques were used and compared. The traits such as the number of seeds set, the number of obtained embryos and the number of produced haploid seedlings were studied. Comparisons showed that among various methods of storing wheat spikes, method (C) was better than other techniques in terms of the percentage of seed production, embryo formation and haploid seedling production. Also, in all three methods, the percentage of seed production, the percentage of embryo formation and the percentage of haploid seedling production were equal to 76.84, 25.22 and 51.89. Among the wheat genotypes in all three methods, genotype DH-133 with 87.28 percent seed set and genotype DH-132 with 32.71 percent embryo formation and 65.08 percent haploid seedling production were the best genotypes. A total of 92 doubled haploid lines were produced. In the field evaluations of 86 doubled haploid lines, traits such as growing season, plant height, lodging, kernel yield and 1000 kernel weight were examined. Finally, 3 lines were selected for adaptation and stability testing under heat stress conditions.

**Keywords:** Wheat, Doubled haploid, Chromosome elimination, Detached-tiller culture

## Sıcaklık Toleranslı Buğday Çeşitlerini Geliştirmek için Çeşitli Buğday ve Mısır Geçiş Yöntemlerini Kullanan Çift Katlı Haploid Buğday Hatlarının Üretiminin Değerlendirilmesi

**Özet.** Bu çalışmada, mısır ile çaprazlarla çift katlı haploid buğday hatlarının geliştirilmesi için kromozom eliminasyon yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan bitki materyalleri 11, F1 buğday genotipleri ve BC572 mısır genotipini içermektedir. Bu çaprazlarda, mısır bitkisi erkek ebeveyn olarak kullanılmıştır. Geleneksel (A), ayrık-yeke kültürü (B) ve ara (C) tekniklerinden oluşan buğdayda haploid üretiminin üç yöntemi kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen tohum sayısı, elde edilen embriyo sayısı ve üretilen haploid fideler sayısı gibi özellikler araştırılmıştır. Karşılaştırmalar, buğday sivrilerini muhafaza etmenin çeşitli yöntemleri arasında tohum üretim yüzdesi, embriyo oluşumu ve haploid fide üretimi açısından (C) metodunun diğer tekniklerden daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca, her üç yöntemde, tohum üretim yüzdesi, embriyo oluşum yüzdesi ve haploid fide üretimi yüzdesi sırasıyla 76,84, 25,22 ve 51,89'e eşittir. Her üç yöntemdeki buğday genotipleri arasında, % 87,28 tohumluk seti olan DH-133 genotipi % 32,71 yüzdesiyle embriyo oluşumu ve % 65,08 haploid fide üretimi olan DH-132 genotipi en iyi genotiplerdir. Toplam 92 katlanmış haploid çizgi üretilmiştir. 86 çift haploid hattının değerlendirilmesinde, yetiştirme mevsimi, bitki boyu, barınma, çekirdek verimi ve 1000 çekirdek ağırlığı gibi özellikler incelenmiştir. Son olarak, ısı stres koşulları altında adaptasyon ve stabilite testi için 3 hat seçilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Buğday, Çift katlı haploid, Kromozom eliminasyonu, Müstakil yeke kültürü

\* Corresponding author. Email address: r\_bozorgi2007@yahoo.com



### INTRODUCTION

Bread wheat with the scientific name of *Triticum aestivum* is among the hexaploid wheat group containing 42 chromosomes ( $2n=6x=42$ ), which is known as common or bread wheat (Zenkteler et al., 1984). Common wheat is better than all varieties of cultivated wheat in terms of quality and quantity and its scattering and distributions more than other types of wheat and is larger amount than other types (Imtiaz et al., 2003). Studies have shown that there are considerable differences in the amount of ability to tolerate heat stress among the different genotypes of wheat and also among wild relatives of wheat (Ochida et al., 2004). So, genetic progress to improve heat tolerance in cultivated wheat is possible. Information about the genetic control of this trait would be helpful although most of the published papers indicate that this trait is quantitatively inherited (Sadasivaiah et al., 2006). Under weather conditions of south-west and southern provinces of the Iran including Khuzestan Province, rapid increase in temperature is common at the end of the growing season. Obviously, in these circumstances, developmental stages of wheat, especially grain filling period, are often faced with a critical temperature even in spite of planting the crop in the convenient and recommended date and this creates adverse conditions to produce a good product. Kernel number per spike, spike length, kernel number per unit of area, biomass, hectoliter weight and harvest index are among the important traits affected by heat stress. Also, the kernel number per spike has been suggested as the most sensitive indicator to select resistant genotypes (Ehdaeiand & Nourmohammadi, 2004). Using the genes involved in early maturity from internal and external resources and fixing them in background genotypes and selection in recombinant lines for early maturity along with desirable agronomic characteristics and yield, early maturing and high yielding wheat can be produced for the mentioned areas (Sharma et al., 2004).

By studying the effect of three planting dates (one timely planting date and two late planting dates) on 13 genotypes of spring wheat under the conditions of Mexico, Ayeneh et al. (2002) argued that delay in planting led to a decrease in the number of days to pollination, number of days to maturity, dry matter, kernel yield, kernel number per spike, number of spikes per square meter, number of kernel per square meter and 1000 kernel weight, but harvest index increased. Through the implementation of various tests on planting dates and varieties in the warm regions of Mexico, Sudan and Bangladesh, Badaruddin et al. (1999) declared that delay in planting and increasing average temperature of the growing season reduce the duration of growth, yield and yield components of wheat. While investigating the effect of seven planting dates on spring bread wheat varieties, Ortiz Monasterio et al. (1994) reported that after proper planting date, for each day of delay in planting, the kernel yield of three varieties of PBW34, PBW154, PB226 was respectively reduced by 0.8, 0.7 and 0.7% and with the delay in planting, kernel yield was decreased due to the reduction in the number of kernel per square meter, which is the result of high temperatures before flowering, and kernel weight loss due to high temperatures after flowering. In general, delay in planting and exposure of reproductive growth and grain filling stages to terminal heat stress lead to accelerating the growth, reducing the overall size of the plant, reduction in photosynthesis, increased respiration, reducing the number of spikes per plant, reducing the kernel number per spike, inhibiting the synthesis of starch in the growing kernel, kernel weight loss and finally, accelerating the aging of plant. All of these physiological and morphological changes led to a reduction in yield under heat stress. By studying the effect of three planting dates (timely in the first of November and late in the first days of December and January) in three independent experiments on the average of nine traits of 25 wheat genotypes in Khuzestan, Radmehr et al. (1996) stated that delay in planting date led to the reduction in biological yield, kernel yield, kernel number per spike, 1000 kernel weight, number of days from planting to spike emergence, number of days to physiological maturity, plant height and grain filling period, but most of the genotypes tested were not adapted with the conditions of

the region. Given the previous studies, the present experiment was conducted with the aim of examining the effect of heat stress due to the delay in planting on the varieties existing in the region.

The fastest way to reach pure and stable forms of new recombination is the haploid breeding method (Zlieng et al., 2001). Breeding through haploid plants is a new chapter in breeding programs. Using this method, the time and cost required to produce a new variety of wheat can be decreased by half. In self-pollinated plants such as wheat, haploid plants and subsequently, doubled haploid lines can be extracted and produced from heterozygous parents (F1, F2, F3) and be used directly to produce new cultivars because each doubled haploid line, due to having specific stabilized recombination, has the potential to become a new cultivar (Bozorgipour, 1990). In order for a system of doubled haploid plant production (DH) to be successfully used in a breeding program, it must have the following conditions to be economical compared with traditional breeding methods (Brazauskas et al., 2005): 1. Easily producing a large number of doubled haploid plants from all genotypes of the breeding program; 2. Doubled haploid lines should be genetically normal and stable; 3. Production of doubled haploid lines should include a random sample of parental gametes.

Main advantages of doubled haploid systems as compared to classical breeding methods are to accelerate the breeding programs and increase the selection efficiency throughout the program (Knox et al., 2005). Haploid wheat plant production has been possible from ancient times through the techniques such as anther culture, pollen kernel and even the culture of ovary and ovule. These methods are still in use but the existence of problems such as production of albino plants and great dependence on genotypes caused that other methods are considered and evaluated (Singh et al., 2005). In this respect, chromosome elimination technique which in some distant crosses leads to the production of haploid embryos with mother plant chromosomes has been identified as a useful method (Eriksen et al., 2008). First, by using the cross between common barley (*Hordeum vulgare*) and wild barley (*Hordeum bulbosum*), Kasha and Kao (1970) managed to obtain haploid embryos from common barley and produce haploid plants through cultivating them. Barclay (1975) reported that haploid wheat production by using the cross between *Triticum aestivum* L. and *Hordeum bulbosum*. The cross between hexaploid wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) was first reported by Zenkteler and Nitzsche (1984).

Bozorgipour and Snape (1990) evaluated Haploid production in Iranian wheat cultivars using the cross between wheat and *Hordeum bulbosum*. In this experiment, the rate of cross ability for Iranian wheat cultivars was reported very low and consequently, using anther culture method or the cross between wheat and maize was proposed for haploid production in Iranian wheat cultivars. But, the biggest disadvantage of this method was its great dependence on genotype so that in some wheat genotypes, the response reaches zero and no embryo is achieved. The reason for this dependence was a controlling cross ability system which is related to *Kr1* and *Kr2* genes. In this system, genotypes having these two genes in dominant state, lose their cross ability with wild barley or may produce a very small percentage of embryos (Koltunow et al., 2007). Finally, Lauria and Bennet (1986, 1987) could obtain haploid embryo and subsequently wheat haploid plant from crosses between wheat and maize. It seems that this method can fulfill the three conditions mentioned above. In addition, the process of chromosome elimination in this method is much faster than the method using wild barley. In the systems of the cross between wheat, wild barley and maize, if the produced seed and embryo are left on the mother plant, they will discolor after 16 to 18 days and are destroyed. One of the reasons is the absence of normal endosperm in these seeds (Chen, 2007). To prevent the abortion of an embryo, it is necessary to examine the seeds produced after 14 to 16 days from the date of pollination in order to identify the presence of embryos. In the case of embryo formation, the produced embryos should be placed on an artificial nutrient medium in a germ free environment to grow and produce seedlings (Broersand & Lopez-Atilano, 2006).

## Evaluating the production of doubled

Many studies have been so far conducted about wheat × maize crosses, some of which have reported genotypic effects on the percentage of embryo production by wheat plant (Sirohi et al., 2008). Some of these studies have noted the ineffectiveness of crossability (*Kr*) genes in wheat × maize crosses (Dixon et al., 2009). In fact, the method of wheat × maize cross has been used to produce wheat haploid plants and double the number of their chromosomes for other specific purposes including the evaluation of the resistance to yellow rust and baking quality of doubled haploid lines (Kiepha, 2010). Arzani and Darvey (2002), while comparing the doubled haploid lines with their sister lines, demonstrated that doubled haploid lines enjoy more diversity in terms of plant weight, the primary biomass, total dry matter and kernel yield. High kernel yield and high forage in a number of doubled haploid populations as compared with their sister families indicated that modifying the triticale lines to use forage and forage seed through anther culture and selection in early generations not only shortens the period of breeding programs, but also it causes to expand the scope of kernel yield and forage. One of the doubled haploid lines derived from Polony Q × TW cross, besides having superior forage yield, is more resistant to the diseases of leaf rust, stem rust and yellow rust and was introduced as Eleanor cultivar in 2001 in the east of Australia (Arzani & Darvey, 2002). The main objective of this project is to produce early maturing, high yielding and heat-tolerant doubled haploid wheat varieties for the hot southern regions of the country. Moreover, this research intends to investigate the relations between agronomic traits, time of spike emergence, flowering and grain filling period in domestic and foreign wheat in hot conditions of the country.

## **MATERIALS and METHODS**

### **Plant materials**

In this research, 11 hybrids of F1 genotype were used as the female parent. These female hybrids had been provided in Khuzestan region because of heat sustaining and early maturing. Compared methods in this research are as follows: Mean while genotype of maize BC572 was used as pollinator plant for synchronizing of anthesis stage of maize and wheat, maize were planted 45 days sooner than wheat ones (all of implants had done with 15 days distance with 5 seeds of each figures kind in a pan). After anthesis, the seedlings were transferred to the plastic flower vases with 22 centimetres thickness which were contained a mixture of compost, sand and farm soil with a ratio of 1:1:2. The resulted seedlings were kept in a greenhouse with 25 °C temperature and the photoperiod of 16/8 hours darkness until male inflorescence production and pollination. For improving maize growth, urea fertilizer was added to the vases every 15 days, after 5-6 leaves stage. Regarding wheat, 25 seeds were sowed in a pan after disinfecting with 20 days distance every time and due to germination, they were first kept in 4°C for 48 hours one day after sowing, and then transferred to the growth chamber in 20°C with photoperiod of 16 hours lightness and 8 hours darkness. After germination, wheat seedlings have transferred to plastic flower vases with 14 centimetres thickness which were included a mixture of compost, sand and farm dust with a 1:1:2 ratio. They have been kept in a greenhouse with the 20°C temperature with the photoperiod of 16 hours lightness and 8 hours darkness until spike production and completing the other stages of experiment

### **Classic or normal method (A)**

On the common method (A) after appearance of two thirds of flag leaf stage, we tried to castrate wheat spike. For doing this, after eliminating mid florets and cutting the upper two thirds of lema and palea, the three existing stamen in each floret was taken out by forceps. Following day the fresh maize pollens, which were collected by using a piece of aluminium foil transferred to the wheat stigma using a paintbrush after 24 hours. During this time and after pollination, 2,4-D hormone with concentration of 100 mg/l was injected to the stigma (the last in ternodes) as well as pollinated florets.

### **Detached tiller method (B)**

In Detached tiller method (B) after appearance of two third of flag leaf stage, wheat stems were cut near land surface and were put in a bark containing water with environmental temperature and transferred to the lab. In the lab, wheat spikes are put in warm water with the temperature of 43°C. Then the wheat stems moved to dark containing water and environmental temperature and the spikes have been covered by using a polyethylene pocket. The fresh maize pollens, which have been collected using a piece of aluminium foil, have transferred to the wheat stigma using a paintbrush after 24 hours. In this method after pollination, the wheat cut stems were put in a liquid medium culture containing 2,4-D hormone with the concentration of 100 mg per litre. Then the stems have been transferred to another liquid medium culture but without any hormones and are kept in growth chamber with the temperature of 22.5 °C of temperature for 14 – 16 days. The photoperiod is as follows: 16 hours lightness and 8 hours darkness with 60 to 65% of moisture. The resulted seed lacks potential elements (endosperm), because there weren't any doubled pollination in the embryo sac. Then in order to provide haploid foetus with the alimentary needs and creating good condition for foetus growth and turning to a haploid seedling, 16 days after pollination by applying foetus technique haploid foetus have been transferred to MS medium culture and kept in a dark growth chamber with 20°C of temperature. After 1 to 2 weeks, when it is about 1 to 1.5 centimetre, the seedlings have been transferred to a lightening condition with 16 hours lightness and 8 hours darkness. This was done because they had to absorb light and do photosynthesis, then as a result, started to grow. After one month (when the seedlings were at least three leaf stage and had a strong filamentary system), they were moved from the glass to the land. When the seedlings reached the tillering stage, they were removed from the soil and immediately the roots were washed with water to remove the soil from the roots. Root and crown of the above-mentioned plants were placed in a solution containing 0.05 grams of colchicine, 1.5 ml of DMSO (Dimethyl Sulfoxide) and a drop of Tween 20 per 100 ml of distilled water. Seedlings remained at room temperature (20-25) for 5.5 hours in a solution of colchicine (this time is sufficient to complete a cell cycle of wheat). After treating the plants, the roots were exposed to tap running water for 24 hours to completely remove the chemicals from the roots. Then, plants were again transferred to the pots. Seed production in plants treated with colchicine shows the success of chromosomes being doubled since haploid plants are sterile and do not produce any seed.

### **Intermediary method (C)**

Intermediary method is a combination of the 2 other methods. The incipient stages including sterilization, pollination and injecting 2,4-D hormone are exactly the same as classic method. 5 or 6 days after the pollination and seed formation, the stems were cut and transferred to the liquid medium culture without 2,4-D. Furthermore, the stems were transferred to the growth chamber in order to control environmental situation. In this method the harvest was done 15 or 16 days after the pollination. This method has various advantages than previous ones because all of the important process such as sterilization, pollination and hormone treatment on the plant are done in the flower vase. This deed results in a better pollination and more appropriate seed formation. Then we cut the stems and put them in the liquid cultivation environment. Through this, transferring materials to the seed and foetus appropriate growth is done very well. Ultimately we expect more seed production as well as more foetus production. Activities done to assess the lines and cultivars under the natural conditions of the field are as follows: Early maturing spring wheat which was expected to be suitable for the warm climate of the south of the country was selected, after evaluation, from International treasury and collection of native wheat of the country every year in Karaj site and was sent to Ahvaz for main assessment. Also, in Ahvaz site, appropriate varieties and lines were selected and assessed for the project. In order to evaluate the agronomic traits (growing period, plant height, lodging, kernel yield) and for terminal heat stress

## Evaluating the production of doubled

tolerance, 50 lines from Cereal Gene Bank collection and 133 lines selected from Karaj international experiments were cultivated in Ahvaz station. Besides, preliminary assessment was performed on 86 doubled haploid lines produced in Karaj.

### Note-taking and statistical analysis

During this study, the number of pollinated florets, produced seeds, haploid embryos and haploid seedlings were recorded. Statistical analysis of the collected data was performed using chi-square test. In addition, Excel software was applied to draw the tables and figures.

## RESULTS and DISCUSSION

### Seed formation percentage in classic method (A)

With regard to Table 1, genotype DH-133 with 82.82% and genotype DH-125 with 62.53% are the best and the weakest genotypes respectively, regarding seed formation percentage [(Number of Seed Formation/ Number of Pollinated Floret)  $\times$  100] in classic method (A). Using Chi-square test shows that, with 5% probability, there is not any meaningful difference among wheat genotypes regarding seed formation percentage in this method.

**Table 1.** Seed formation percentage in classic method (A).

WG	NPF	NSF		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	295	218	73.90	0.31
DH-125	332	207	62.35	3.61
DH-127	286	214	74.83	0.54
DH-128	340	231	67.94	0.49
DH-129	319	228	71.47	0.00
DH-130	374	276	73.80	0.37
DH-131	327	225	68.81	0.25
DH-132	371	263	70.89	0.00
DH-133	355	294	82.82	6.80
DH-134	331	218	65.86	1.30
DH-135	309	215	69.58	0.11
Total	3639	2589	71.14	13.78 <sup>ns</sup>

ns: Not Significant at 5% Level, WG: Wheat Genotype, NPF: Number of Pollinated Floret, NSF: Number of Seed Formation

### Seed formation percentage in detached tiller method (B)

With regard to Table 2, genotype DH-133 with 89.32% and genotype DH-135 with 64.92% are respectively the best and the weakest genotype regarding seed formation percentage in detached tiller method (B). Using Chi-square test shows that, with 1% probability, there is a meaningful difference among wheat genotypes regarding seed formation percentage in this method. This difference can exist as a result of female parent effect.

**Table 2.** Seed formation percentage in detached tiller method (B).

WG	NPF	NSF		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	340	242	71/18	0.41
DH-125	317	211	66.56	2.47
DH-127	304	249	81.91	2.46
DH-128	297	194	65.32	3.13
DH-129	290	202	69.66	0.79
DH-130	334	256	76.65	0.28
DH-131	370	278	75.14	0.05
DH-132	381	310	81.36	2.67
DH-133	337	301	89.32	10.44
DH-134	343	242	70.55	0.60
DH-135	305	198	64.92	3.15
Total	3618	2683	74.15	26.81**

\*\* : Significant at 1% Level, WG: Wheat Genotype, NPF: Number of Pollinated Floret, NSF: Number of Seed Formation

**Seed formation percentage in intermediary method (C)**

As can be seen in Table 3, wheat genotype DH-131 with 93.04% and genotype DH-124 with 77.78% are respectively the best and the weakest genotype regarding seed formation percentage in intermediary method. Using Chi-square test shows that, with 5% probability, there is a meaningful difference among wheat genotypes regarding seed formation percentage in this method.

**Table 3.** Seed formation percentage in intermediary method (C).

WG	NPF	NSF		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	342	266	77.78	2.09
DH-125	358	286	79.89	1.09
DH-127	341	294	86.22	0.06
DH-128	302	248	82.12	0.29
DH-129	298	243	81.54	0.42
DH-130	329	271	82.37	0.26
DH-131	359	334	93.04	2.74
DH-132	367	329	89.65	0.94
DH-133	346	311	89.88	0.98
DH-134	325	267	82.15	0.31
DH-135	349	309	88.54	0.52
Total	3716	3158	84.98	9.70 <sup>n.s</sup>

ns: Not Significant at 5% Level, WG: Wheat Genotype, NPF: Number of Pollinated Floret, NSF: Number of Seed Formation

Bakoset al. (2005) stated the average seed formation percentage 74% in their experiments. Jain et al. (1996), combines 12 F1 wheat genotypes with 1 maize genotype. The extent of seed formation percentage was variant between 68.94% and 89.76%. The average seed formation percentage was stated 82.87%. Jain et al. stated that no meaningful difference was observed in seed formation percentage. Javid Ahmad (2004) combined 8 hexaploid F1 wheat genotypes and 4 tetraploid F1 wheat genotypes with 3 maize genotypes named FSH-399, Akbar and Composite. They have used detached tiller method and hand operated sterilization. Seed formation percentage was reported to be 87.0% to 99.5% in hexaploid genotypes with the average of 90.3% and in tetraploid genotypes 60.3% to 78.1% with an average of 71.4%. They have stated that with 1% probability, there is a meaningful difference in the

## Evaluating the production of doubled

combination of hexaploid with maize as well as tetraploid with maize. Also just like this research, they concurred that the female parent has an effect on seed formation percentage. Bakhtiaret al. (2006) combined 3 wheat genotypes with 3 maize genotypes named H7, H3, and H1. They have used common method (A) and detached tiller (B) in their research. Seed formation percentage was variant in method A 55.45% with the combination of G1H1 to 76.50% with G2H7, in method B 59.12% with the combination of G1H7 to 69.77% with G3H1.

### Embryo formation percentage in method (A)

With regard to Table 4, the best genotype in method A regarding embryo formation percentage [(Number of Embryo Formation/ Number of Seed Formation) × 100], is DH-132 with 28.52% and the weakest one on this method is DH-135 with 15.81%. Chi-square test shows that, with 5% probability, there isn't any meaningful difference among wheat genotypes in classic method regarding Embryo formation percentage.

**Table 4.** Embryo formation percentage in method (A).

WG	NSF	NEF		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	218	41	18.81	0.72
DH-125	207	36	17.39	1.61
DH-127	214	51	23.83	0.55
DH-128	231	45	19.48	0.43
DH-129	228	53	23.25	0.33
DH-130	276	59	21.31	0.00
DH-131	225	46	20.44	0.11
DH-132	263	75	28.52	6.07
DH-133	294	72	24.49	1.24
DH-134	218	44	20.18	0.17
DH-135	215	34	15.81	3.21
Total	2589	556	21.47	14.45 <sup>n.s</sup>

ns: Not Significant at 5% Level, WG: Wheat Genotype, NSF: Number of Seed Formation, NEF: Number of Embryo Formation

### Embryo formation percentage in method (B)

With regard to Table 5, changes extent in embryo formation percentage is variant in method B: genotype DH-135 with 15.66%, genotype DH-133 with 30.32%. Therefore DH-133 is the best genotype in this method and DH-135 is the weakest one regarding e genotype formation percentage. Chi-square test has shown that, with 1% probability, there is a meaningful difference among wheat genotypes regarding embryo formation percentage. Among factors influencing embryo formation are: Using fresh and ripe pollen seed, the influence of female parent (wheat genotype), stigma's preparation for accepting pollen in the period of pollination

**Table 5.** Embryo formation percentage in method (B).

WG	NSF	NEF		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	242	48	19.83	1.40
DH-125	211	40	18.96	1.87
DH-127	249	54	21.69	0.36
DH-128	194	32	16.49	4.07
DH-129	202	51	25.25	0.26
DH-130	256	63	24.61	0.13
DH-131	278	75	24.61	1.42
DH-132	310	94	26.98	6.10
DH-133	301	87	30.32	3.71
DH-134	242	56	28.90	0.01
DH-135	198	31	15.66	5.20
Total	2683	631	23.52	24.52**

\*\* : significant at 1% level, WG: Wheat Genotype, NSF: Number of Seed Formation, NEF: Number of Embryo Formation

**Embryo formation percentage in method (C)**

As can be seen in Table 6, the best genotype in method C, regarding embryo formation percentage is DH-132 with 38.30% and the weakest one is DH-124 with 22.93%. Chi-square test shows a meaningful difference among wheat genotypes with 5% probability, regarding embryo formation percentage.

**Table 6.** Embryo formation percentage in method (C).

WG	NSF	NEF		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	266	61	22.93	4.14
DH-125	286	71	24.83	2.32
DH-127	294	83	28.23	0.22
DH-128	248	67	27.02	0.62
DH-129	243	80	32.92	6.83
DH-130	271	89	32.84	0.88
DH-131	334	103	30.84	0.14
DH-132	329	126	38.30	8.11
DH-133	311	83	26.69	0.97
DH-134	267	79	29.59	0.00
DH-135	309	97	31.39	0.29
Total	3158	939	29.73	18.52*

\* : significant at 5% level, WG: Wheat Genotype, NSF: Number of Seed Formation, NEF: Number of Embryo Formation

Bakoset al. (2007) reported the embryo formation percentage 20.7% on their researches. Mehta and Angra (2000), said that using 2,4-D hormone after pollination can be useful for the number of formulated haploid wheat embryos. Berzonskyet al. (2003) tested the effects of different ways of using 2.4-D hormone on the number of wheat haploid embryos. They found out that using detached tiller method is more useful than injecting hormone to the stem or dropping it in the floret. They also reported the number of embryos 12% and 28%, in method A and B respectively. Inagaki (1997) stated the influence of fresh pollen seeds in formulating haploid wheat embryo. Zhenget al. (2001) recognize the effect of maize genotype on the number of haploid embryo, besides they stated that the density of 2,4-D hormone just



## Evaluating the production of doubled

has effect on the size of the embryo. Zhenget al. (2001) stated the seed formation percentage 20.5% and 19.4% in classic and detached tiller method respectively. Jain et al.(1996) reported the extent of embryo formation percentage 10.62% to 25.23% and the average embryo formation percentage 20.13%. Javid Ahmad (2004) have done some experiments on 8 hexaploid wheat genotype and 4 tetraploid wheat genotype. They reported the extent of embryo formation percentage in wheat hexaploid genotype, something between 13.1% and 25.0% with an average of 12.2%. Bakhtiaret al. (2006), stated embryo formation percentage 64.5% in the common method (A) and 55.7 percent in detached tiller method (B).

### Haploid seedling formation percentage in method (A)

With regard to Table 7, the extent of changes in haploid seedling formulation percentage [(Number of Haploid Seedling/ Number of Embryo Formation) × 100] in method A is from 30.56% in DH-125 genotype to 63.04% in genotype DH-131. Using Chi-square test, with 5% probability, doesn't show any meaningful difference among wheat genotypes regarding haploid seedling formation percentage in this method.

**Table 7.** Haploid seedling formation percentage in method (A).

WG	NEF	NHS		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	41	13	31.71	2.70
DH-125	36	11	30.56	2.68
DH-127	51	21	41.18	0.76
DH-128	45	16	35.56	1.84
DH-129	53	26	49.06	0.01
DH-130	59	34	57.63	0.72
DH-131	46	29	63.04	1.62
DH-132	75	44	58.67	1.18
DH-133	72	37	51.39	0.04
DH-134	44	27	61.36	1.18
DH-135	34	19	55.88	0.25
Total	556	227	49.82	12.97 <sup>n.s</sup>

ns: Not Significant at 5% Level, WG: Wheat Genotype, NEF: Number of Embryo Formation, NHS: Number of Haploid Seedling

### Haploid seedling formulation percentage in method (B)

With regard to Table 8, the extent of changes in haploid seedling formulation percentage in method B is from 28.13% in genotype DH-128 to 62.77% in genotype DH-132. Using Chi-square test, with 5% probability, doesn't show any meaningful difference among wheat genotypes in this method.

**Table 8.** Haploid seedling formation percentage in method (B).

WG	NEF	NHS		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	48	14	29.17	4.04
DH-125	40	13	32.50	2.36
DH-127	54	25	46.30	0.12
DH-128	32	9	28.13	2.98
DH-129	51	30	58.82	0.87
DH-130	63	32	50.79	0.02
DH-131	75	46	61.33	2.08
DH-132	94	59	62.77	3.28
DH-133	87	44	50.57	0.02
DH-134	56	29	51.79	0.05
DH-135	31	12	38.71	0.74
	631	313	49.60	16.56 <sup>ns</sup>

ns: Not Significant at 5% Level, WG: Wheat Genotype, NEF: Number of Embryo Formation, NHS: Number of Haploid Seedling

**Haploid seedling formulation percentage in method (C)**

As we can see to Table 9, the extent of changes in haploid seedling formulation percentage in method C is from 39.44% in genotype DH-125 to 70.63% in genotype DH-132. Using Chi-square test in this method doesn't show any meaningful difference among wheat genotypes regarding haploid seedling formulation percentage.

**Table 9.** Haploid seedling formation percentage in method (C).

WG	NEF	NHS		$\chi^2$
		No	%	
DH-124	61	26	42.62	1.61
DH-125	71	28	39.44	3.00
DH-127	83	43	51.81	0.12
DH-128	67	31	46.27	0.86
DH-129	80	39	48.75	0.51
DH-130	89	58	65.17	1.81
DH-131	103	64	62.14	1.06
DH-132	126	89	70.63	5.91
DH-133	83	41	49.40	0.42
DH-134	79	37	46.84	0.88
DH-135	97	57	58.76	0.30
Total	939	513	54.63	16.47 <sup>ns</sup>

ns: Not Significant at 5% Level, WG: Wheat Genotype, NEF: Number of Embryo Formation, NHS: Number of Haploid seedling

Berzonsky et al. (2003) did not observe any meaningful difference in applying method of hormone 2,4-D and the abundance of formulated haploid seedling. Bakhtiaret et al. (2006), reported haploid seedling formulation percentage in common method (A) and detached tiller one (B) 75% in combination with G1H7, G1H3, G1H1, and 62.99% in combination with G2H7, G2H3, G2H1, and 71.15% in combination with G3H7, G3H3, G3H1. These results were drawn from researches done on 3 wheat genotypes (G1, G2, G3) in combination with maize genotypes (H7, H3, H1). Jain et al. (1996) combined 12 F1 wheat genotype with one F1 maize genotypes and stated the extent changes of haploid seedling formulation percentage form 25.00% to 58.46% with the average of 45.21%. Javid Ahmad (2004) used 8 F1 hexaploid genotypes and 4 F1 tetraploid biotype in combination with maize, in order to compare

## Evaluating the production of doubled

hexaploid and tetraploid wheat genotype. They used detached tiller method and hand operated sterilization and reported the extent of changes and haploid seedling formulation percentage in hexaploid wheat genotypes as 52.4% to 63.0% with the average of 60.5% and in tetraploid genotype as 18.1% to 37.6% with the average of 24.6%. The experiments in this research show that such factors: full ripening of the embryo, Not to hurt the embryo during cultivation stage, Cultivation method of the embryo in culture medium, Temperature situation of cultivated foetuses during incubation stage can have effect of haploid seedling formulation. Besides with regard to Table 10, in interstitial and classic regarding seed formation percentage, with 5% probability, there is not any meaningful difference among wheat genotypes, but in detached tiller method, with 1% probability, meaningful difference is observed. Among all of methods A, B, and C the best genotype, regarding seed formation percentage, is DH-133 with 87.28% and the weakest one is DH-125 with 69.91%.

Among all of methods A, B and C. The best genotype regarding embryo formation percentage is DH-132 with 32.71% and the weakest one is DH-124 with 20.66% and the best genotype regarding haploid seedling percentage is DH-132 with 65.08% and the weakest one is DH-124 with 35.33% (Table 10).

**Table 10.** Overall table compares wheat genotype for all traits in all their methods.

Wheat genotype	Florets (A)	Seed (B)	Embryo (C)	Seedling (D)	%B/A	%C/B	%D/C
DH - 124	977	726	150	53	74.31	20.66	35.33
DH - 125	1007	704	147	52	69.91	20.88	35.37
DH - 127	931	757	188	89	81.31	24.83	47.34
DH - 128	939	673	144	56	71.67	21.40	38.89
DH - 129	907	673	184	95	74.20	27.34	51.63
DH - 130	1037	803	211	124	77.43	26.28	58.77
DH - 131	1056	837	224	139	79.26	26.76	62.05
DH - 132	1119	902	295	192	80.61	32.71	65.08
DH - 133	1038	906	242	122	87.28	26.71	50.41
DH - 134	999	727	179	93	72.77	24.62	51.96
DH - 135	963	722	162	88	74.97	22.44	54.32
Total	10973	8430	2126	1103	76.84	25.22	51.89

### Field assessments under natural conditions

In order to evaluate the agronomic traits (growing period, plant height, lodging and kernel yield), 30 lines from Cereia IGene Bank collection and 114 lines selected from Karaj international experiments were cultivated in Ahvaz station. Out of 30 lines received from Cereal Gene Bank, 12 lines were selected with regard to lines appearance, diseases and early maturity. Out of 114 lines from international experiments of cereal section, 54 lines were selected with regard to early maturity and would be cultured for further study in the next year in crossing block test. Furthermore, 92 doubled haploid lines which were related to the first generation of colchicine were cultured for proliferation and preliminary study in Ahvaz site, which 86 of them had become green. However, given that these lines were the first generation of colchicine and were planted with delay (the second half of December), the results obtained are not reliable. Evaluation and judgment about these lines will be reliable after a generation of proliferation and self-pollination.

## CONCLUSION

With regard to the following conclusions, among methods A, B and C, intermediary method (C) is the best way for keeping spike: Seed formulation percentage equals 84.98%, Embryo formulation percentage equals 29.73%, and Haploid seedling formulation percentage equals 54.63%

## Acknowledgment

This research has been carried out funded by the Seed and Plant Improvement Institute of Karaj.

## REFERENCES

- [1] Ayeneh Gh. A., M. Van-Ginkel, M. P. Reynolds and K. Ammar. 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research* 79: 173-184.
- [2] Arzani A. and N. L. Darvey. 2002. Comparison of doubled haploid lines and their mid- generation progenitors in forage and dual- purpose triticale under greenhouse hydroponic conditions. *Euphytica* 126: 219-225.
- [3] Ahmad J. 2004. Improvements in wheat and maize crossing system of doubled haploid production breed- wheat. *Pakistan Higher Education* 65-72.
- [4] Barclay I.R. 1975. High frequencies of haploid production in wheat (*Triticum aestivum*) by chromosome elimination. *Nature* 256: 410-41.
- [5] Bozorgipour R. 1990. The use of *in vitro* techniques for crop improvement in cereal. *Ph.D. Thesis. The University of Cambridge.*
- [6] Bozorgipour R. and J. W. Snape. 1990. The cross ability of Persian wheat cultivars with *Hordeum bulbosum* and their potential for haploid production. *Cereal Research Communication* 18: 203–208.
- [7] Badaruddin M., M. P. Reynolds and O. A. A. Ageeb. 1999. Wheat management in warm environments: effect of organic and inorganic fertilizers, irrigation frequency and mulching. *Agronomy Journal* 91: 975-983.
- [8] Berzonsky W.A., S. L. Kleven and G. D. Leach. 2003. The effects of parthenogenesis on wheat embryo formation and haploid production with and without maize pollination. *Euphytica* 113: 285-290.
- [9] Brazauskas G., I. Paoakinskiene and V. Ruzgas. 2005. Improved approaches in wheat × maize crossing for wheat doubled haploid production. *Biologica* 4: 15-18.
- [10] Bakhtiar F., R. Bozorgipour and S. Shahabi. 2006. The production of double haploid wheat lines using planting cultured stem cut in crosses between wheat and maize and evaluation of some crops characterizes. 22: 351-367.
- [11] Bakos F., E. Darko, Z. Ponya and B. Barnabas. 2007. Application of wheat (*Triticum aestivum* L.) microspore culture and ovaries to raise wheat zygotes *in vitro*. *Acta Biologica Cracoviensis Series Botanica* 45: 107-110.
- [12] Bakos F., K. Jager and B. Barnabas. 2005. Regeneration of haploid plants after distant pollination of wheat via zygote rescue. *Acta Biologica Cracoviensis* 47/1: 167-171.
- [13] Broers L. and R. M. Lopez-Atilano. 2008. Components of adult resistance in bread wheat to stripe rust. *Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Congress of Plant Pathology*, p. 85.

## Evaluating the production of doubled

- [14] Chen X.M. 2007. Epidemiology and control of strip rust (*Puccinia striiformis* f.sp.*tritici*) on wheat. *Plant Pathology* 27: 314–337.
- [15] Dixon J.,H. J. Braun, P.Kosina and J. Crouch. 2009. Wheat facts and figures. *CIMMYT Publications Catalogue*95.
- [16] Ehdaei B. and Gh. Normohammadi. 2004. Environmental sensitivity and correlation analysis of yield and its components performance in indigenous tetraploid wheat (durum) of Khoozestan under favorable and unfavorable environmental conditions. *Scientific Agricultural Journal. Shahid Chamran University, Ahwaz* 17: 15-31.
- [17] Eriksen L., F. Afshari, M. J. Christiansen, R. A. McIntosh, A. Jahoor and C. R.Wellings. 2008. *Yr32* for resistanceto stripe (yellow) rust present in the wheat cultivar Carstens V.*Theoretical Applied Genetic*108: 567–575.
- [18] Imtiaz M.,M. G. Cromey, J. Hampton and G. M. J. Hill. 2003. Inheritance of seedling resistance to stripe rust(*Pucciniastriformis*f. sp. *tritici*) in ‘Otane’ and ‘Tiritea’ wheat (*Triticumaestivum*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Sciences* 31: 15–22.
- [19] Inagaki M. 1997. Technical advances in wheat haploid production using ultra- wide crosses. *JIRCAS Journal*4: 51-62.
- [20] Jain S. M.,S. K. Sopory and R. E. Velleux.1996. *In vitro* haploid production in higher plant. *Kluwer Academic Publisher, the Netherland*.
- [21] Kiepha G. 2010. All about haploid production in wheat. *Wadsworth, California* 45-118.
- [22] Koltunow A.M. and U.Grossniklaus.2007. A developmental perspective. *Annual Review of Plant Biology*54: 547-574.
- [23] Knox R.E.,J. M. Clarke and R.M. Depaum. 2005. Dicamba condition effects on doubled haploid production in durum wheat crossed with maize. *Plant Breeding* 4:289.
- [24] Kasha K.J. and K. N. Kao. 1970. High frequency haploid production in barley (*Hordeum vulgare*L.).*Nature*225: 874-876.
- [25] Laurie D.A. and M. D. Bennet. 1986. The effect of cross ability loci *Kr1* and *Kr2* on pollination frequency in hexaploid wheat × maize crosses. *Theoretical Applied Genetic* 73: 403-409.
- [26] Laurie D.A. and M. D. Bennett. 1987. The production of haploid wheat plants from wheat× maize crosses. *Theoretical Applied Genetic* 76: 363-397.
- [27] Mehta Y.R. and D. C. Angra. 2000. Somaclonal variation for disease resistance in wheat and production of diploids through wheat × maize hybrids. *Genetical and Molecular Biology* 32.
- [28] Mochida K.,H. Tsujimoto and T. Sasakuma. 2004. Confocal analysis of chromosome behavior in wheat x maize zygotes. *Genome* 47: 224-228.
- [29] Ortiz Monasterio J. I. R., S. S. Dhillon and R. A.Fischer.1994.Date of sowing effects on kernel yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India.*Field Crops Research* 37: 169-184.
- [30] Radmehr M., Gh. A. Ayeneh and A. R. Kajbaf. 1996. Study on the effect of heat stress on agronomic traits, kernel yield and yield components in twenty five cultivars of bread wheat. *Journal of Plant and Seed* 12: 13-23.
- [31] Sitch L.A. and J. W. Snap. 1989. The influence of the *Hordeum bulbosum* and the wheat genotype on haploid production in wheat. *Z. pflanzenzuchtg.* 96: 304- 319
- [32] Sadasivaiah R.S.,B. R. Orshinsky, S. M.Perkovic and B. L.Beres.2006. Colchicine-induced chromosome doubling in wheat haploids.*Wheat Information Service* 93: 1-4.
- [33] Sharma H.,Y. Yang and H. Ohm. 2004. An assessment of doubled haploid production in soft red winter with by wheat × maize wide crosses. *Cereal Research Communications* 30: 269-275.
- [34] Sirohi M. and V. K. Khanna. 2008. Influence of age of embryo and method of hormone application on haploid embryo formation in wheat × maize crosses. *4<sup>th</sup> International Crop Science Congress*.

- [35] Singh S., G. S. Sethi and H. K. Chaudhary. 2005. Differential responsiveness of winter and spring wheat genotypes to maize-mediated production of haploids. *Cereal Research Communications* 32: 201-207.
- [36] Zenkteler M. D. and W. Nitzsch. 1984. Wide hybridization experiments in cereals. *Theoretical Applied Genetics* 68: 311-315.
- [37] Zheng M. Y. W., Y. Liu, E. Weng Polle and C. F. Konzak. 2001. Culture of freshly isolated wheat (*Triticum aestivum* L.) microspores treated with inducer chemicals 20 (8): 685-690.



## Hadoop ve Mapreduce Teknolojisi aracılığıyla Gıda-tabanlı Mobil Uygulamaları için bir

### Arama Hizmeti

Mehmet Akif ÇİFÇİ<sup>1\*</sup>, Duygu ÇELİK ERTUĞRUL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, 34295, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Mersin-10, G.Mağusa, KKTC.

Received: 12.04.2016; Accepted: 22.01.2017

**Özet.** Son zamanlarda güvenli gıda tüketimi ve e-sağlık üzerine birçok mobil uygulama geliştirilmiştir. Sağlık bilinciyle hareket eden kullanıcılar, özellikle zararlı gıda ve katkı maddelerinden kaçınarak, güvenli gıda tüketimi için bu alana yönelik uygulamaları son derece önemsemektedir. Günümüzde bu tür uygulamaları destekleyen yapılandırılmış veya yapılandırılmamış verileri içeren kapsamlı bir veritabanı eksikliği bulunmaktadır. Bu makalede mobil uygulamalar için sağlıklı bir gıda tüketimi arama hizmeti sunan Hadoop ve Mapreduce (MR) yaklaşımından yararlanan Mobile Apps Search Service (MSS) önerilmektedir. MSS, gıda ve gıda katkı maddeleri alanına yönelik hizmet vermekte ve mobil kullanıcıların sorgularını ele alarak bilgi sunma hizmetini kapsamaktadır. MSS herhangi bir mobil uygulamanın arkasındaki işlem olarak çalışabilir. Çünkü MSS, bir arama motoru ile aynı mantıkla çalışır; mobil uygulamalarda tıklamalarla oluşan kullanıcı sorgularına yanıt aramak ve kullanıcıya bilgi sunmak için bağlantılı bilgileri kataloglar ve web kaynakları üzerinde tarama yapar. MSS'in tasarımı ve geliştirilmesi, sistem mimarisi, sorgu anlayışı, Hadoop-MR ortamında ve Action Script kullanımı ile vurgulanmaktadır. Makalenin içinde, bir örnek olay incelemesi ile MSS'in genel özellikleri, işleyişi ve mevcut faydaları ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil Sağlık Sistemleri, Gıda-Tabanlı Mobil Uygulamalar, Hadoop ve MR, Mobil Sistemler İçin Büyük Veri, Mobil Bilgi Servisi

## A Search Service for Food Consumption Mobile Applications via Hadoop and Mapreduce Technology

**Abstract.** Many mobile applications on safe food consumption and e-health have been developed recently. Health conscious users highly regard such applications for safe food consumption, especially avoiding offending foods and additives. However, there is the lack of a comprehensive database containing structured or unstructured data to support such applications. In this paper we propose the Mobile Apps Search Service (MSS), a healthy food consumption search service for mobile applications utilizing Hadoop (a file system) and Mapreduce (MR- a framework). The MSS may work as a process behind any mobile application to provide a service to search for information on food and food additives. The MSS works by the same logic as a search engine (SE); it crawls over Web sources cataloguing relevant information for eventual use in responding to queries from mobile applications. MSS design and development are highlighted through its system architecture, query understanding, its use of the Hadoop/MR Environment, and action scripts. A case study helps displaying the virtues of MSS.

**Keywords:** Mobile Medical Systems, Food - Based Mobile Applications, Hadoop and MR, Big Data for Mobile Systems, Mobile Data Service

### 1. GİRİŞ

“Arama motorları, veri metni alımının birincil araçlarıdır. Standart bir arama motorunun şu üç temel görevi yerine getirmesi gerekir: Web'de tarama, taranılan içeriği indeksleme ve indeksi kullanarak sorguları işleme [1].” İnternet üzerinde -çoğu yapılandırılmamış- çok büyük miktarda veri bulunmaktadır. Bu veriler; insanlar, araçlar ve makineler tarafından oluşturulmuştur. Büyük veri dinamik, çok boyutlu ve birbirinden farklı hacimlerde olabilir. "Büyük Veri; büyük hacimli, karmaşık

\* Corresponding author. Email address: [wwwakif@msn.com](mailto:wwwakif@msn.com)

## Comparative Analysis

ve büyüyen verilerle ilgilenmektedir. Hızlı ağ oluşumu ve veri depolama özelliği sayesinde büyük veri -fiziksel, biyolojik ve biyomedikal bilimler de dâhil olmak üzere- tüm bilim ve mühendislik alanlarında hızla büyümektedir [2].” Tüm bu yapılandırılmamış verilerle başa çıkmak için işlevsel ve ölçeklenebilir yeni bir teknoloji gerekmektedir. Bu ihtiyaçtan ötürü Hadoop çerçeve programı geliştirilmiştir. Hadoop sıradan sunuculardan oluşturulan kümeler üzerinde büyük hacimli verilerin dağıtık dosya sistemi ile incelenmesine olanak sağlayan açık kaynaklı bir yapıdır. Hadoop ve MR çok büyük miktardaki verileri işlemek için tasarlanmıştır. Hawking (2011)’in bulguları da bu çalışmayı desteklemektedir. “Hadoop, çok büyük verileri işlemek için tasarlanmış bir platformdur. Hadoop, sıradan sunucuların bir araya gelerek oluşturdukları küme yapısıyla çalışmaktadır. Sunucular, küme yapısına dinamik olarak eklenip çıkarılabilmektedir. Hadoop kendi kendini tedavi edebilen bir mimari yapıya sahiptir [3].” Hadoop oluşumları dört tür işlem içerir: Hadoop üzerindeki tüm dosyalar hakkındaki bilgileri saklayan NameNode (master), dağıtılan iş parçacıklarının çalışmasından sorumlu olan JobTracker, görevi blokları saklamak olan DataNode (slave) ve tamamlamak üzere iş parçacığı talep eden TaskTracker’dir. Hadoop, büyük miktarda veri içeren binlerce düğümle, sistemlerdeki uygulamaların çalıştırılmasını sağlar. Hadoop işlemi, her türlü veri için büyük çapta depolama sağlayarak kesintisiz ve limitsiz bir şekilde devam etmektedir. Hadoop internetin hemen hemen her alanında yer aldığı gibi normal ve dikey arama motorlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Herodotu ve Lim (2011) çalışmalarında bunu desteklemişlerdir. Ayrıca Hadoop Google, Facebook, DuckDuckGo gibi arama motorları için vazgeçilmezdir.

İlaveten günümüzde mobil uygulamalar zaman ve mekândan bağımsız olarak bilgiye erişim olanağı sağlamaktadır. Hoopmann, Moritz, Deutsch ve Boyle (2012)’un belirttikleri gibi Hadoop ve MR arama motorları için büyük öneme sahiptir. Hoopmann vd., yaptıkları çalışmalarla bu öngörüye katkı sağlamaktadırlar. Hadoop esnek, ölçeklenebilir ve güvenilirdir. İhtiyaç duyulduğunda, verinin kendisini, formatını, yerini değiştirmeden çalışan, işlerin ve uygulamaların nasıl yazıldığını dikkate almadan yeni düğüm noktası ekleyebilen özelliğine sahiptir. Esnek bir yapıya sahip olan Hadoop, farklı kaynaklardan gelen farklı veri tiplerini birbirleriyle birleştirip, özetlenebilir ve işlenebilir hale getirir. Ayrıca veri noktalarından birisine ulaşamaz olduğunda, sistem, gelen yükü diğer veri noktalarına paylaştırarak kesintisiz hizmete devam ettiği için güvenilirdir. Söz konusu yaklaşım sadece veriyi işlemeyi değil; veriyi anlamlı hale getirip kullanıcıya sunmayı da amaçlamaktadır. Lam (2010)’in çalışmaları da bu yaklaşımı desteklemektedir. Bunlara ek olarak, bütün mobil platformlarda çalışılabilir olup; ayrıca açık kaynaklı bir proje olması özelliği de MSS’i yenilikçi bir yaklaşım olarak göstermektedir.

Bu makalede, gıda tüketimine yönelik, mevcut mobil uygulamaların arka planında çalışacak olan ve ürünlerdeki gıda katkı maddeleri hakkında bilgi sunan bir arama servisi ele alınmıştır. Bu mobil uygulamalar, kullanıcılarının tükettikleri/tüketecekleri ürünlerin içinde bulunan gıda katkı maddeleri ile ilgili çeşitli sorgular yapma ihtiyacı duyar. Yapılan sorgulara doğru sonuçlar sağlamak için mobil uygulamaların kendi gıda katkı maddeleri hakkında veri tabanı olmalıdır; aksi takdirde bilgi döndürülemez. Bu nedenle, gıda tabanlı mobil uygulamalar için özel amaçlı gıda katkı maddeleri hakkında bilgi sağlama servisi olan Mobile Apps Search Service (MSS) düşünülmüştür. Hadoop temelli bir MSS’in sağlıklı gıda tüketimi ile ilgili verileri taraması, toplaması, indekslemesi, kataloglaması ve hizmet vermesi süreçleri önerilmiştir. Bu makalenin geri kalanında ele alınacak olan MSS, verilerin ve hesaplamaların farklı bilgisayarlar arasında dağıtılarak, arama sonuçlarının daha hızlı geri dönmesinde yardımcı olur. Böylece birden fazla görev aynı anda yapılabilir.

Bu makale aşağıdaki sıra ile sunulacaktır: Bölüm 2’de problem tanımı ve MSS sisteminin mimarisi anlatılacaktır. Bölüm 3’te önerilen sistemde kullanıcı arama terimlerini ve/veya başka parametreleri yazıldığında girdi sorgunun oluşturulması hakkında bilgi sunulmaktadır. Bölüm 4’te sistemin geliştirilmesi için kullanılacak araç ve yöntemlerden bahsedilmektedir. Bölüm 5’te önerilen MSS



sistemi için iş akış diyagramı ve sisteme genel bakış incelenecektir. Bölüm 6’da sistemin geliştirilmesine yönelik uygulama algoritmaları anlatılacaktır. Bölüm 7’de örnek mobil uygulama üzerinde MSS’in çalıştırılması ve değerlendirilmesi gösterilmiştir. Son olarak Bölüm 8’de ilgili sonuçlar verilmiştir.

## 2. SİSTEM MİMARİSİ

MSS sistem mekanizması, bir arama hizmeti sağlayıcısının neredeyse aynısıdır. MSS, yalnızca anahtar kelimeleri ya da anahtar cümleleri tanımlamak yerine, yapılandırılmış veriler arasındaki bağlantıyı anlar. MSS bir anahtar kelime eşleştirme hizmeti değildir. Ayrıca MSS arayan kişinin maksadının ne olabileceğini anlamaya çalışarak arama doğruluğunu artırır. Genel arama motorlarının aksine MSS özellikle gıda tüketimi işlevine odaklanmaktadır. Bu işlevselliği elde etmek için birbirleri ile etkileşimde olan yedi farklı modül tasarlanmış ve sistem mimarisine dahil edilmiştir. Bilindiği üzere arama motorları; web tarama, indeksleme, sorgulama ve bilgi çekmeyi gerçekleştiren bilgi erişimi uygulamalarıdır. MSS ise Hadoop ve MR kullanarak gıda ile ilgili verileri aramak için özellikle tasarlanmış mobil uygulamalara yönelik özel bir arama hizmetidir. “MR, büyük veri kümeleri işlemeye ve oluşturmaya yarayan uygulama ve programlama modelidir. Kullanıcılar, bir ara anahtar/değer çifti seti oluşturmak için bir anahtar/değer çiftini işleyen eşleşme fonksiyonu ve aynı ara anahtarla ilişkili tüm ara değerleri birleştiren bir indirme fonksiyonu belirler. Birçok görev bu modelde anlatılabilir [4].” MR, çalışma sisteminin görevlerini azaltmak için girdi-veri eşleşmesini bölümler. Ayrıca girdi/çıkı verilerini makinelere transfer eder.

**Tablo 1.** Birbirleri ile etkileşimli MSS’in modülleri

Modüller		
1	Veritabanı	* Veri aktarmak için kullanılan RDBMS
2	Veri havuzu	* Depolama için yönetilen bir yer.
3	Websitesi Ekleme Sihirbazı	* Websiteleri Crawler’a ekleme sihirbazı
4	Crawler/Spider/bot	* Websitelerini indekslemek için gerekir
5	Ürün Entegrasyon Servisi	* Cep telefonlarını bağlama entegrasi
6	Websitesi	* Ağ üzerinden erişilebilen bir sayfa
7	Hive/sqoop/MR	* Hadoop ortamındaki araçlar
8	Mobil Uygulamalar için Bağlantı Hizmeti	* Herhangi bir mobil uygulama için hizmet

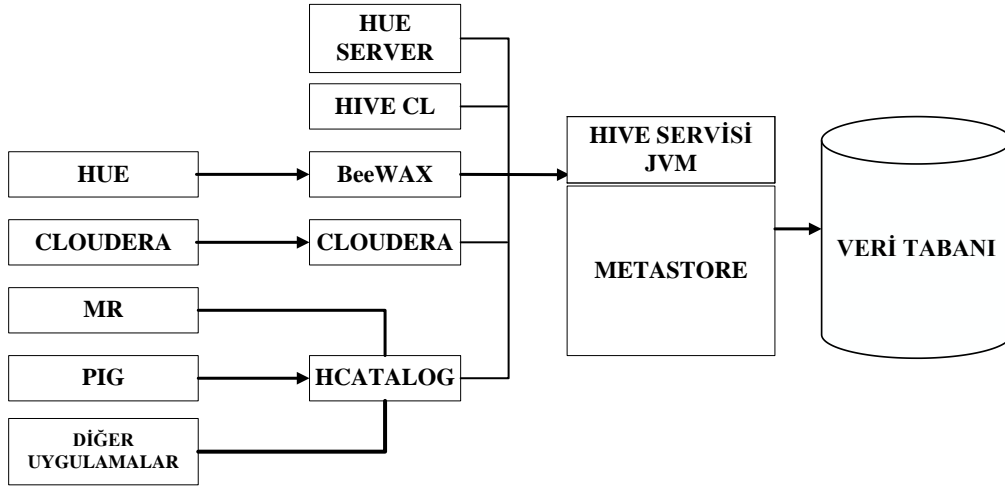
Ağ transferlerini azaltmak amacıyla girdi verilerinin hâlihazırda depolandığı makineler kullanılarak öncelikle hesaplama yapılmıştır. MR’ın bir başka özelliği ise Hadoop üzerinde çalışabilen ve dağıtık mimari üzerinde çok büyük verilerin kolay bir şekilde analiz edilebilmesini sağlayan sistemlerden bir tanesi olmasıdır. Bünyesindeki MAP (haritalama) ve REDUCE (indirgeme) fonksiyonlarını kullanarak verileri işler. Map aşamasında, analiz edilen veri içerisinde alınmak istenilen veriler alınır. Reduce aşamasında ise bu çekilen veri üzerinde istenilen analiz ve diğer işlemler gerçekleşir. Yine Reduce aşamasında tamamlanan işler işin mantığına göre birleştirilerek istenilen sonuç elde edilir. Map aşamasındaki işlemler birbirinden bağımsız olarak gerçekleşebildiği için aynı anda birden çok işlem yapılabilir. Bu sayede büyük miktardaki veri, Cluster (küme) içerisindeki Node (düğüm)’lar tarafından hızlı bir şekilde okunabilir. Cluster’da yer alan Node sayısı arttıkça işlemlerin hızı da aynı oranda artar. Reduce aşamasında ise aynı anahtara (Key) sahip veriler paralel olarak işlenebilir.

Hadoop ve MR sayesinde MSS sistemi, internet taraması yapıp; taramaları indeksleyerek ve girdi / çıktı veriler arasında bir ilişki oluşturarak mobil uygulama kullanıcılarına sağlıklı gıda tüketimi ile ilgili sorgu sonuçları sağlayabilmektedir. Hadoop’un yüksek hata toleransına sahip olması nedeniyle MSS kesintisiz bir şekilde çalışabilir. Hadoop başarısız görevleri yeniden çalıştırarak hataların üstesinden gelir. Bu tür başarısız görevler, MSS’in işini kolaylaştıran başarılı ve hızlı sonuçlar elde etme olasılığını arttırmak için birden çok düğümde uygulanabilir.

## Comparative Analysis

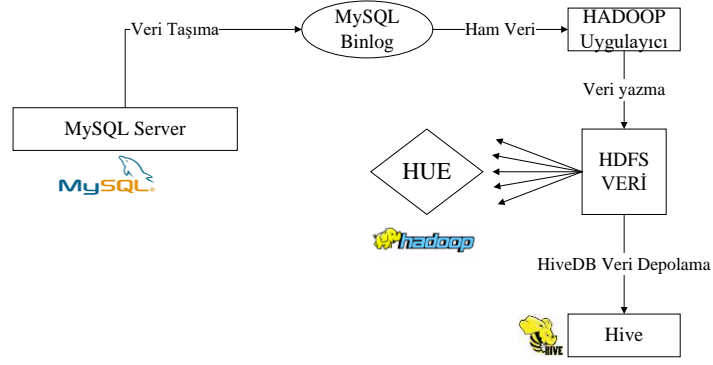
MSS özellikle çeşitli web kaynaklarından bilgi toplama adımı olan web taramasına odaklanmaktadır. Crawler(arama motoru robotu) ilgili belgeleri bulur ve indeksleme işlemi için hazırlar. Crawler, internetteki bilgileri tarayıp kendi belirlediği kurallara göre dizinlerine kaydeder. Tam manasıyla taranmayan web sayfaları için genellikle web sayfalarının açıklamalarını daha doğru bir şekilde sağlayan anchor (bağlayıcılar) kullanılır. Binlerce web sitesi indekslendikten sonra, içerik İlişkisel Veri Tabanı Yönetim Sistemi (RDBMS) içine transfer edilecektir. Daha sonra, veri RDBMS'ten bazı basit SQL kodları kullanarak sqoop (veri işleme CL) yoluyla, sorgu ve analiz sağlayan bir veri ambarı altyapısı olan Hive'a transfer edilir.

MSS'in çalışma mekanizması Şekil 1'de gösterilmektedir. Hadoop kullanıcı arayüzü (HUE)' nün RDBMS'e Hadoop ile çalışmayı kolaylaştıran bazı basit SQL kodları ile bağlı olduğu görülmektedir. Crawler'lardan yapılandırılmamış veri, dağıtık dosya sistemi Hadoop Distributed File System (HDFS) ortamında MR yardımıyla yapılandırılmış formata dönüştürülür. Tarama verisi MR algoritmaları ve görevleri üzerinde işlenir. Şekil 1'de görüldüğü gibi HUE ana çerçeve Cloudera HUE'nun üzerine kurulu olduğu sanal sistem, MR, Pig ise Hadoop üzerinde çalışan programlardır ve veri kataloglama işleminden sorumludurlar. Verileri analiz ederek düzenleme yaparlar. Neticede bu programların hepsi Hive JVM'den yararlanırlar ve MSS'in veri tabanı ile sürekli iletişim içerisinde dirler.



Şekil 1. HUE ve RDBMS İş akışı.

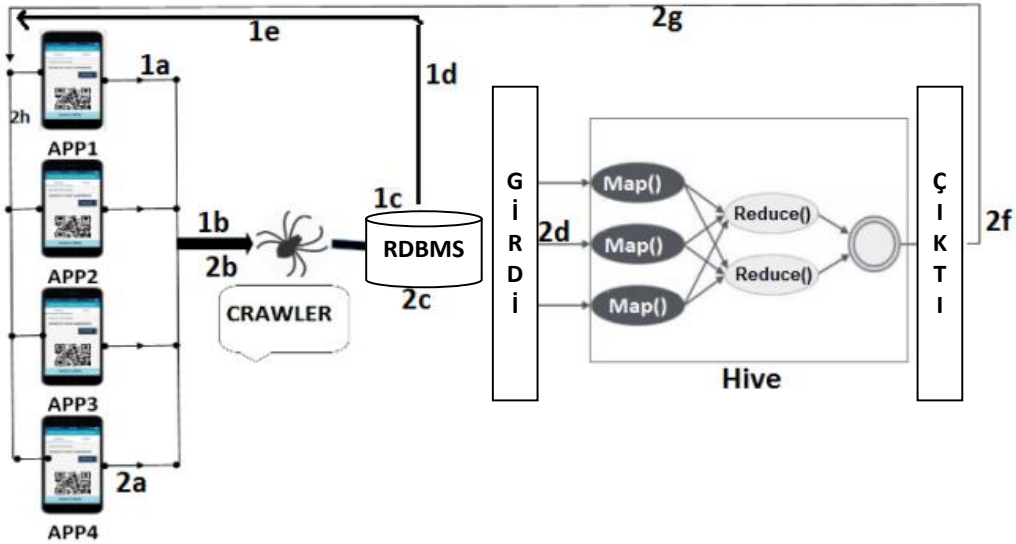
HUE ve RDBMS arasındaki bağlantı Şekil 2'de açıkça gösterilmektedir. Öncelikle, gerçek zamanlı veri MySQL'den getirilir. Daha sonra, ham veri haline gelir ve son olarak MSS için işlenecek veri HiveDB'nin içine yerleşir.



Şekil 2. MySQL'den HDFS Tümeleme

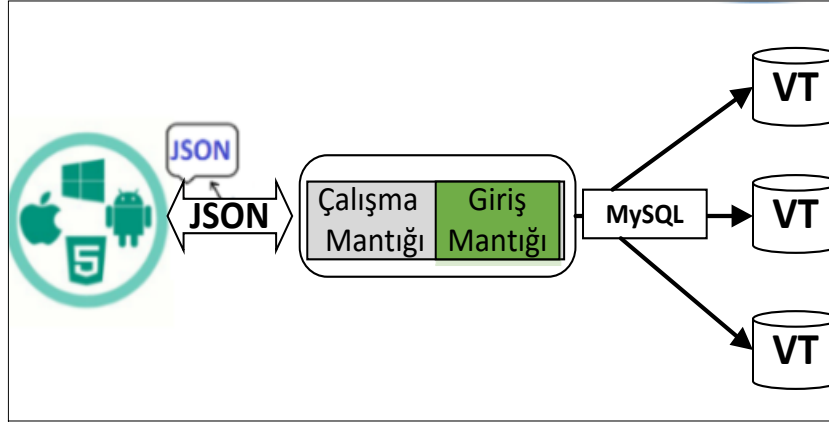
MSS'teki bilgi servisi destek akışı Şekil 3' te gösterilmektedir. MSS sistem mekanizması şu şekilde çalışmaktadır: Öncelikle kullanıcı bir sorgu yapar, yani arayüze bir anahtar kelime girer (bkz. 1a). Girilen anahtar kelime doğrudan bir arama robotu olan Crawler'a ulaşır (bkz. 1b) istenilen sonuç veritabanında (RDBMS) bulunursa (bkz. 1c) sonuç doğrudan kullanıcıya döndürülür (bkz.1d) ve böylelikle bilgi kullanıcıya ulaşmış olur (bkz. 1e).

Şayet istenilen sonuç veritabanında bulunamazsa yapılan sorgu (bkz. 2a) doğrudan Crawler'a ulaşır (bkz. 2b) oradan RDBMS (bkz. 2c) üzerinden büyük ölçekli hiveDB'ye yönlendirilir (bkz. 2d) ardından bilgiye ulaşırsa veri kullanıcıya (bkz. 2f) taşınmış olur. Son olarak ilgili sonuç kullanıcılara ulaşmış olur (bkz. 2g).



Şekil 3. MSS Bilgi Hizmeti Desteği İş Akışı.

MSS ve mobil uygulamalar arasındaki bağlantı mekanizması Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu bağlantı JSON (Hem insanlar, hem de makineler tarafından okunabilen bir veri değişimi biçimidir) programlama dili aracılığıyla yapılmaktadır. MSS, verilere doğrudan erişim için ya da verileri kullanarak bazı görevlerin çalıştırılması amacıyla mobil uygulamalardan gelen istekleri destekler.



Şekil 4. Veri Tabanına Bağlanan e-Sağlık Mobil Uygulamaları.

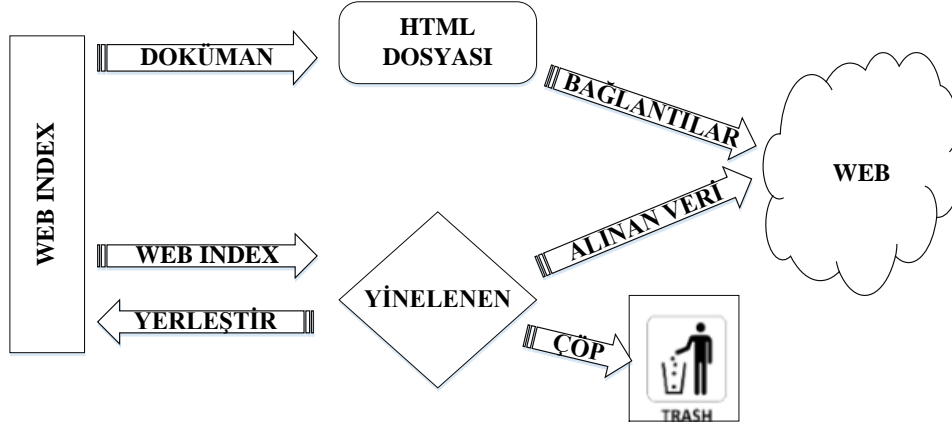
### 3. SORGU OLUŞTURULMASI

Kullanıcı; arama terimlerini ve/veya başka parametreleri yazıp; mobil uygulama üzerinde tıkladığında işletim sisteminin arka planında bir Spider (Crawler) bu terimleri her bir arama hizmetinin işleyebileceği sorgulara çevirir. Sonrasında sorguları gönderir ve daha iyi işlenmesi için sonuçlar standart bir formata dönüştürülür. Bu formata Tuple denir. Tuple (veri kümesi), çok değişik verilerin bir araya gelmesiyle oluşmuş veri gruplarıdır. Tuple, verileri birden çok değere çevirebilir ve çok sayıda değeri hafızasında tutabilir. Tuple belge referanslarını tanımlayan Crawler tarafından kullanılmaktadır. Tuple parantezler kullanır (). Her bir Tuple kendi özel imzasını taşır. (Tuple1, Tuple2, ...) gibi. Tuple'larda belge referansı bulunur. Bir belge referansı, verilen belge için URL, başlık, parça ve güven puanıdır. Genel olarak bakıldığında işin büyük bir bölümü, farklı arama hizmetlerinin sorunlarıyla başa çıkan Wrapper tarafından yapılır. Wrapper bilgisayar veya yazılım kütüphanesinde bulunan ve aramaları daha akıllı hale getirmek için kullanılan bir altyardamdır (subroutine). Ayrıca Wrapper genel programlama da sağlar.

#### 3.1. Harmanlama ve Yinelenen Algılama

Ganesh (2004)'in belirttiği gibi ortalama bir Crawler başlangıç sayfası P0 ile başlar ve başlangıçta bu sayfaya erişim sağlanır. Daha sonra bu sayfadaki bütün URL'leri ayıklar ve onları incelemek için URL sırasına ekler. Ardından sırasıyla URL'leri işler ve bu işlemi tekrar eder. Crawler taradığı her sayfayı kaydeder, sayfalar için indeksleme yapar veya sayfa içeriğini analiz edip özetler [5]. İlk adım, taramanın yapılandırma ayarlarını yapmaktır. Sayfaların uyup uymadığını ve Crawler'ın ne yaptığını görebilmek için taranacak sayfaları bir şekilde sınırlamak önemlidir.

Bir web indeksinin MSS'te yinelenen bir dosyayı silmek için Crawler'a belgeleri kontrol etme isteği göndermesi Şekil 5'te gösterilmektedir. Crawler işi kontrol ettiğinde şayet benzer dosya bulursa bunun bir kopyasını saklar, diğer kopyasını ise çöpe yollar. Şekil 5'te de açıkça görüldüğü gibi saklanan uygun yolla web'e gönderilir.



Şekil 5. Crawler Yinelemeleri Nasıl Temizler.

### 3.2. Veri Seçimi ve Toplama

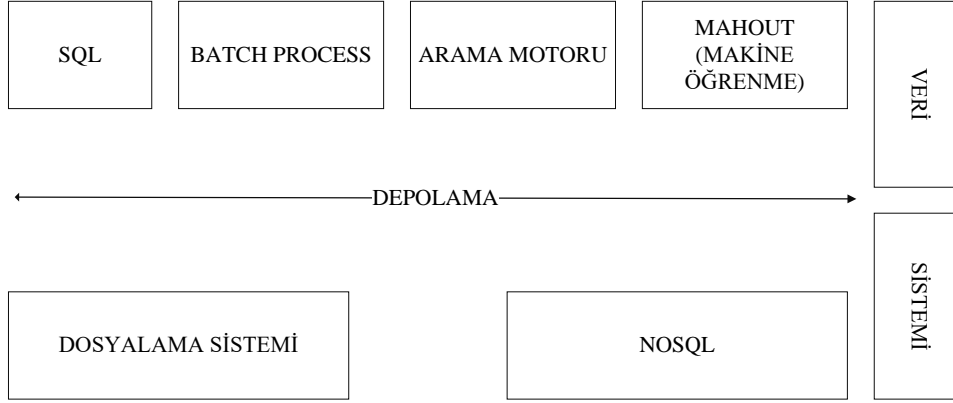
Veri toplamanın ilk yöntemi çeşitli web sitelerinden gıda ile ilgili indirilen verileri veri tabanına eklemektir. Bu nedenle verinin nerede ve nasıl alındığı ya da gıda ile bağlantılı verinin formatı önemlidir. Çünkü yüzlerce web sitesi aranabilir ve binlerce gigabayt ücretsiz veri bu amaçla indirilebilir. En önemli kaynaklardan bir tanesi Westbury laboratuvarıdır. Westbury laboratuvar kitaplığı “konular ve kelime kullanımları yelpazesiyile ve konuya göre belgenin düzgün organize edilmesi nedeniyle korpus olarak Vikipedi seçmiştir. Buna ek olarak Vikipedi’de en sık kullanılan, küçük harfle yazılmış 30.000 kelime MSS veri tabanında kullanılmıştır [6].” Örneğin Westbury laboratuvarı Vikipedi kitaplığından yaklaşık 2 milyon serbest nanoyapılı veri makalesi almıştır. Bu yapılandırılmamış veriler, RDBMS'e (MySQL) kolayca yüklemeyi mümkün kılan TXT formatındadır. Veri toplamanın ikinci tekniği ise veriyi araştırmak ve sonrasında web sayfalarının içeriğini indekslemek için web taraması yapmaktır. Web Crawler, bir arama motoru tarafından daha sonra işlenmesi ve indirilen sayfaların indekslenmesi için ziyaret ettiği tüm sayfaları kopyalarak kullanıcıların çok daha etkin bir şekilde arama yapmasını sağlayabilir. MSS, işlemleri tipik veya geleneksel arama motorlarıyla aynı olmayan bir bilgi-tabanlı arama hizmetidir. Belgeleri, anahtar kelimeler olarak indekslemek yerine MSS, kullanıcılara bağlantılı sonuçlar vermek için Web Ontoloji Dili (OWL), Kaynak Tanımlama Çerçevesi Şeması (RDFS) veya Kaynak Tanımlama Çerçevesi (RDF) gibi modellerde büyük miktarda ontoloji toplayacaktır. "Bir arama motoru için bağlantılılık, doğru kelimelerle bir sayfayı bulmaktan daha fazlası demektir [7].” Bu nedenle sorgu sonuçları anlamlı olmalıdır.

## 4. KULLANILAN ARAÇLAR

MSS, arama motoru bileşenlerinin geliştirilmesi için birçok araç kullanmaktadır. Hadoop ve MR en önemlileri olmakla beraber, açık kaynak kodlu veri tabanı olan Hbase (veri tabanı) ve RDBMS ile birlikte Hive (veri tabanı), sqoop ve MSS oluşturmak için PHP ve SQL gibi araçlardan yararlanılmıştır. Şekil 7'de, Cloudera Hub'da bir SQL ve NOSQL belleğinin de olduğu gösterilmektedir. Odak noktası SQL'dir, çünkü MSS çoğunlukla PHP ve SQL komutlarında geliştirilmiştir. Bu nedenle, Hadoop'u RDBMS'e bağlamak için SQL'i seçmek, hayati önem taşımaktadır. MSS'i daha akıllı hale getirerek kullanıcı sorgularından kullanıcının ne istediğini öğrenmeye yarayan Hadoop üzerinde bir program olan makine öğrenimi ise diğer bir odak noktasıdır.

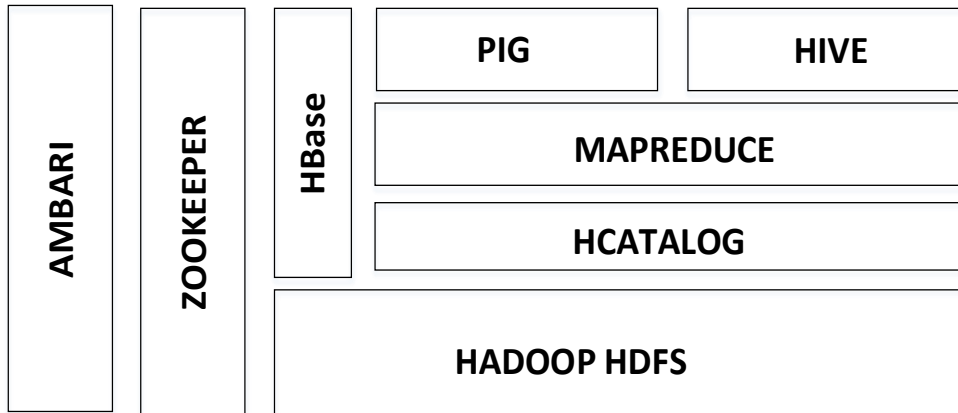
## Comparative Analysis

MSS, anlamı kavrayarak kullanıcıların sorgularına daha doğru cevaplar vermeyi hedefleyen semantik arama üzerine yoğunlaşmaktadır. Semantik aramanın buradaki amacı, kullanıcıların belirli bir bağlamda ne istediklerini anlamak için kelimeler ya da cümlelerin 'statik' sözlük anlamının ötesine geçmesini sağlamaktır (bkz. Şekil 7).



Şekil 7. Cloudera Data Hub.

Cloudera CDH (Hadoop için gerekli olan sanal sistem)' in kurulması, tüm bu araçlara sahip olmak için daha kolay bir yoldur. Kurulum bittikten sonra HUE kullanıma hazırdır. Şekil 8'de gösterildiği gibi, HUE arayüzünde Hive ve Hbase gibi tüm araçlara sahip olunabilir. Ambari HDFS dosyalarını gözetleme, görüntüleme ve yönetme işleminden sorumludur. Zookeeper, dağıtık yapıda olan servislerin koordine edilmesi için geliştirilmiş -kendisi de dağıtık yapıda çalışan- bir uygulamadır. Hbase çok büyük boyutlara sahip verilere gerçek zamanlı okuma/yazma erişimi yapmak gerektiği zamanlarda kullanırken; aynı ortamda çalışan Pig ise MR ile büyük verileri dağıtık sistemlerde analiz eder. Hive, SQL biçimde sorgular geliştirmemizi sağlayan Hadoop tabanlı veri ambarı (datawarehouse) kütüphanesidir. MR Hadoop projesinde, verileri birden fazla makinede paralel olarak işlememizi sağlayan bir kütüphanedir. Hcatalog verilerin Pig ve MR yoluyla daha kolay okunmasına, yönetilmesine yardımcı olur (bkz. Şekil 8). Semantik temelli MSS oluşturmak için, Hadoop üzerinde semantik arama eklentisi olan Redlink Solr (semantik için eklenti) (bkz. Tablo 2) eklentisi kullanılmaktadır.



Şekil 8. HADOOP Ortamı

Redlink Solr Eklentisi Hadoop üzerinde çalışabilen MSS'in sonuçlarını anlamsal kılan bir eklentidir. Bu eklenti Tablo 2'de gösterildiği gibi sunucu üzerine kurulmuştur.

**Tablo 2.** Redlink Solr Eklentisi Kurulumu

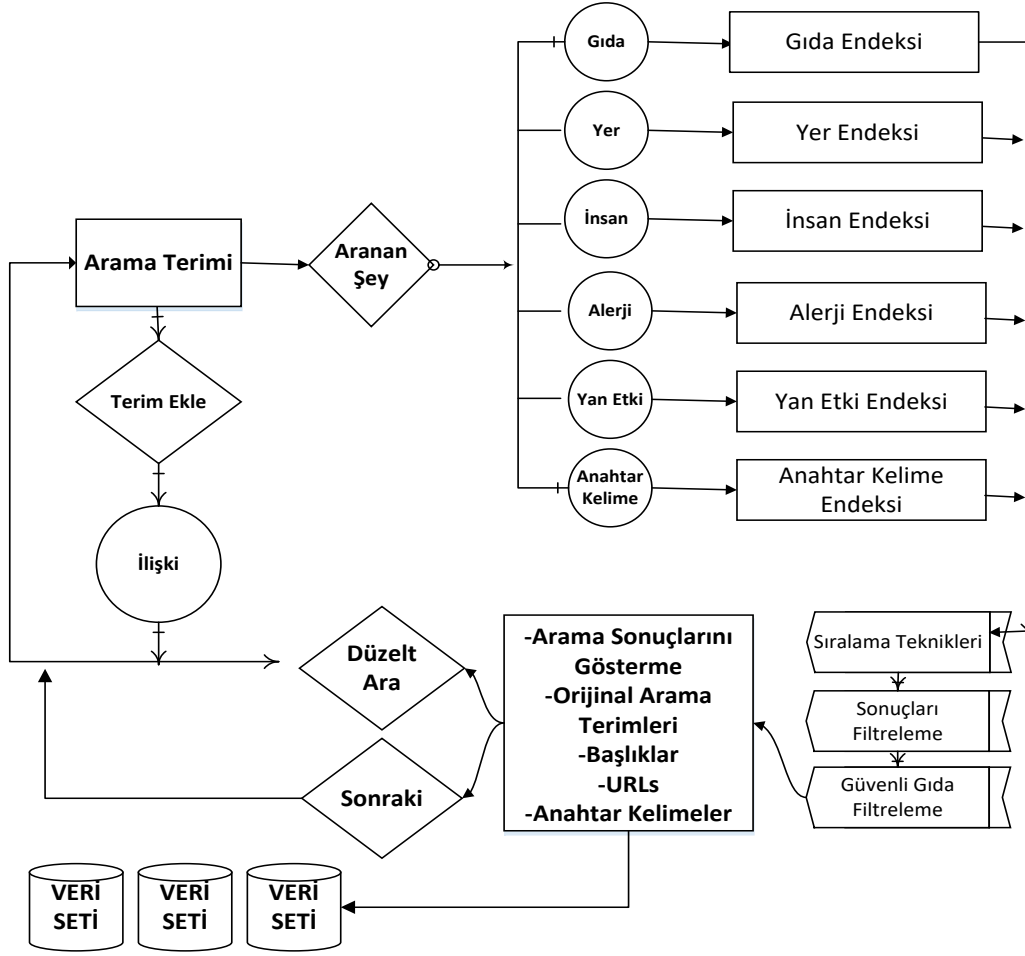
Prosedür 1: Redlink eklentisi algoritması
1. Create lib directory for your core.
2. Enable it by adding <code>&lt;lib dir="./lib" /&gt;</code> to the solrconfig.xml file.
3. Copy the plugin (solr-plugin-1.0.0.jar) into the lib directory of the core

## 5. AKIŞ ŞEMASI

Kullanıcının gıda güvenliği ile ilgili herhangi bir arama terimini veya sorgusunu girdiği arama motorunun akış şeması Şekil 9'da gösterilmektedir. Sonrasında işlem gerektiğinde, yeni arama terimlerinin eklenebildiği arama bölümü ile devam edilmektedir. Ardından bir bağlantı kurulur, veri filtrelenir ve depoları geçtikten sonra, veri daha anlamlı hale gelir. Yinelenenler tarandıktan sonra silinir. Veri her zaman yinelenenlerden arındırılır ve bir kopyası Hadoop ile bağlantılı veri tabanında depolanır. Hadoop'ta veriyi depolamak için kümeler kullanılır. MR kullanılarak bir Hadoop kümesi içine toplanan veriler çıkarıldıktan sonra belge türleri tespit edilerek metaveri olarak bu belgelerden aktarılır. Son olarak, metaveri indekslenir, böylece arama yapıldığında tüm indeksler aranabilir. Bu sayede, sonuçlar daha bağlantılı ve anlamlı hale gelmektedir.

Bilgi çekme aşamasında, anahtar kelimelerle arama yapan bir kullanıcı indeks veri tabanına uyan dizeleri arar ve böylece en iyi eşleşen sayfaların listesi kısa bir açıklama ile karşısına çıkar. Binlerce sayfa arama dizesiyle eşleşir. Bu nedenle kullanıcı sorgusuyla bağlantılı sayfaları belirlemek için, arama motoru-MSS- kendine ait bir algoritma bulundurur. Bu algoritma Şekil 9'daki, MSS'in akış şemasından da anlaşılmaktadır. Öyleki MSS'teki herhangi bir sorunun çözümü için izlenmesi gereken aritmetik ve mantıksal adımların bütünü Şekil 9'da anlatılmıştır. "Kuchiki, Tsukada vd., (2008) çalışmalarında belirttikleri gibi akış şeması MSS algoritmasının adımlarının mantıksal sırasını, adımların birbiri ile bağlantısını, bir işlemten diğerine nasıl bir yol izleyeceğini belirten kontrol mekanizmasıdır. Girilen anahtar kelimeler belirli ve mantıklı yollar izlemektedir [8]."

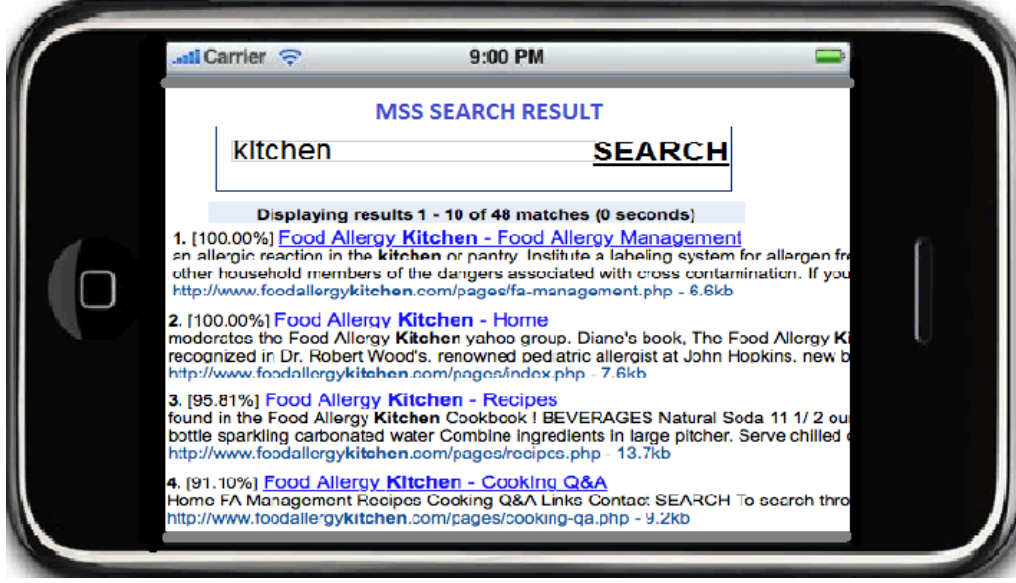
## Comparative Analysis



Şekil 9. Arama Motoru Akış Şeması.

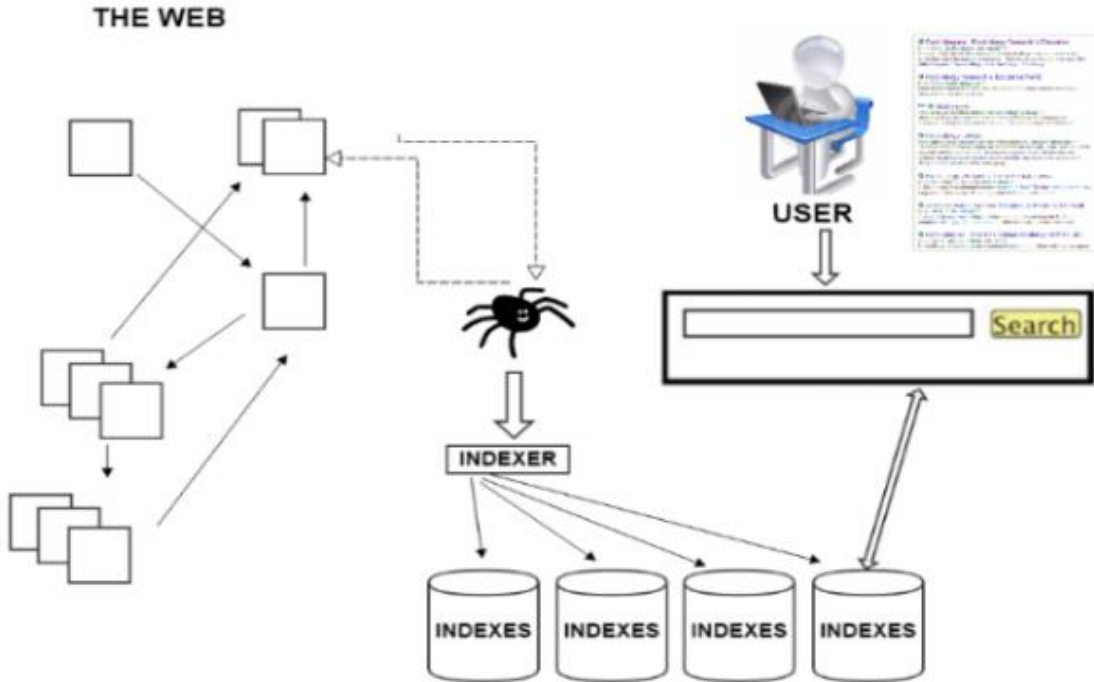
Gıda katkı maddeleri ile ilgili sonuç sayfasının nasıl görüntülediği Şekil 10'da gösterilmektedir. "Kitchen" anahtar kelimesi girildiğinde, MSS bir bilgi tabanlı arama motoru olduğu için kullanıcının gıda güvenliği ve gıda katkı maddelerini aramakta olduğunu anlar. MSS, bilgi temelli olduğundan konuyla ilgili sonuçları aramaktadır. Böylece sonuçlar daha akıllıca ve anlamlı olacaktır. Görüldüğü gibi, Şekil 10'da bir arama sonucunun sıralama sistemi gösterilmektedir. En bağlantılı sonuçlar, sıralama algoritmasına göre en tepede bulunmaktadır. "PageRank, web sitesinin ne kadar önemli olduğu hakkında kabaca bir tahmin belirlemek için bir sayfaya giden bağlantıların kalitesini ve sayısını hesaplayarak çalışır. Altta yatan varsayım, daha önemli web sitelerinin diğer web sitelerden daha fazla bağlantı almasıdır [9]." MSS içerik tabanlı olacaktır. Kullanıcının niyetini anlayacak ve verinin işlendiği HUE içinde veriler arasındaki bağlantıları yapabilecektir. MSS, gıda tüketimi üzerine mobil uygulamalar için dikey tip bir arama hizmet sağlayıcısı olduğu için bağlantılı sorguyu bulabilir ve sorgu Şekil 10'da gösterildiği gibi anlamlı olur.





Şekil 10. MSS Sonuçlar Sayfası.

MSS'in genel bir bakışı Şekil 11'de gösterilmektedir. Bir kullanıcı istek gönderdikten sonra MSS bağlantılı sonuç için interneti tarar ve bağlantılı sonuç bulunursa gönderilir. Aksi takdirde yapılandırılmış veri, veritabanı ile eşleştirilir ve bir eşleşme bulunursa sonucu kullanıcıya gönderir. Bir site için tüm eşsiz bağlantılar tıkladığında ve ziyaret edildiğinde Crawler'ın işi tamamlanır. Elbette, sitede kendilerine bir bağlantı olmayan sayfalar da bulunabilir. Bu durumda "Sayfaya başka bir sitede başvurulmadığı sürece, Crawler bu sayfa hakkında bilgi edinemeyecektir [10]." Bu engelle başa çıkmak için, MSS veritabanına binlerce gigabayttan fazla veri karşıdan yüklenir.



Şekil 11. MSS'e Genel Bakış.

## 6. UYGULAMADA KULLANILAN ALGORİTMALAR

MSS'teki Haritalama ve İndirgeme Algoritması Tablo 3'te gösterilmektedir. Öncelikle Haritalama işlemi gerçekleşir. Bunu takiben veriler türüne göre bileşenlerine ayrılır. Sonuç olarak indirgeme işlemi kategorize edilmiş verilerden sonuca varılır. MSS'in MySQL ve PHP programlama dillerinden yararlandığını bilinmektedir. MSS; Korsanlık, SQL enjeksiyonu ya da başka bir Web saldırısına karşı güçlü şifrelerle korunacaktır.

**Tablo 3.** MR Algoritması.

Prosedür 2: Haritalama ve İndirgeme Algoritması
1. MAPPER(record):
2. my number = record ['a number'] value = {1, record ['a value']}
3. emit (my number, value)
4. JOINER (my number, value sequence): record number = 0; value sum = 0;
5. for each (value: value_ sequence) {
6. record number += value [0] value sum += value [1]value out = {record number, value sum}
7. emit (my number, value out)
8. REDUCER (my number, value_ sequence)
9. record number = 0 value sum = 0
10. for each (value: value_ sequence)
11. record number += value [0] value sum += value [1] total = value sum / record number;
12. emit (my number, total)

Web Sayfalar arası ilişkiler Tablo 4'te açıkça gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere Sayfa 1 öncelikle Sayfa 2' yi takip eder. Bu, ortak olasılığın nasıl çalıştığını göstermek için basit bir senaryodur; ancak olasılıklar, yapılan sorgu ile tahminler ilişkilendirilmeye çalışıldığı için tüm olasılıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

**Tablo 4.** Sayfalar Arası İlişkiler.

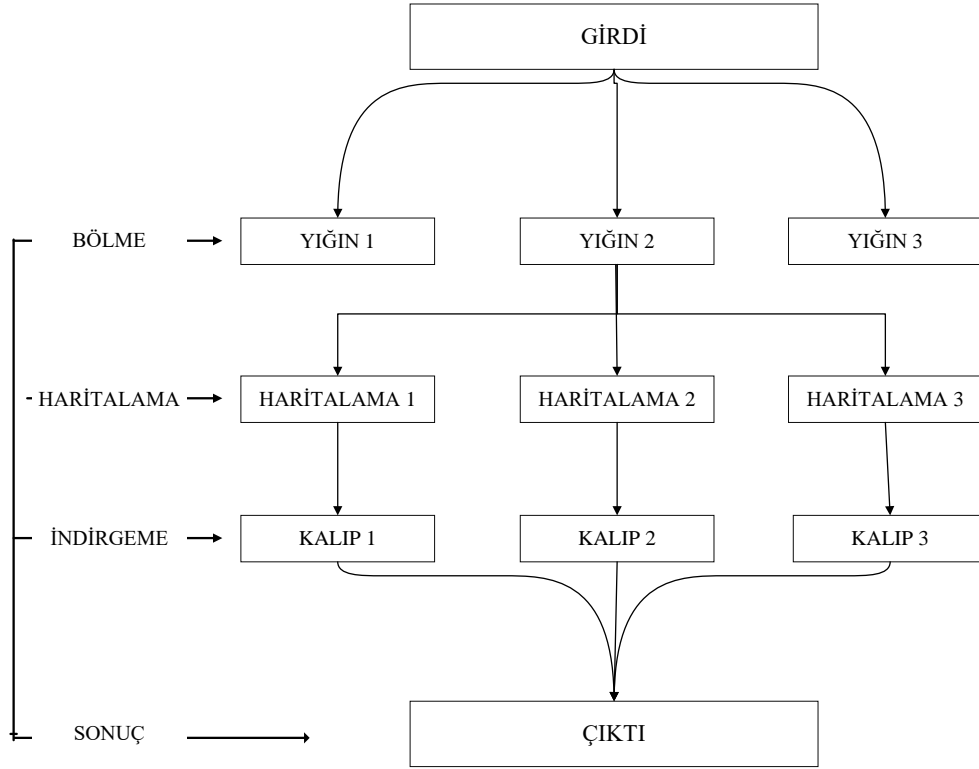
Sayfa1(s1)	Sayfa2(s2)
İlişki Olasılıkları: $S(ij, s) = \delta_{ij} / \eta_{ij} = T_{ij}$ $S(12, s1) = 1 / 2 = 0.5$ $S(13, s1) = 1 / 2 = 0.5$ Birleşme Olasılıkları: $S(Q,p1) = (S(12, s1)) \cap (S(13, s1))$ $= ((1/2) \cap (1/2))$ $= (0.5 *)$ $= 0.25$	İlişki Olasılıkları: $S(ij, s) = \delta_{ij} / \eta_{ij} = T_{ij}$ $S(12, s2) = 2 / 2 = 1$ $S(13, s2) = 0 / 2 = 0$ Birleşme Olasılıkları: $S(Q,s2) = (S(12, s2)) \cap (S(23, s2)) \cap (S(13, s2))$ $= ((2/2) \cap (1/2) \cap (1/2))$ $= (1$

Ayrıca, sıfırdan farklı bir puanı, ilgili olmayan kavramların bulunduğu sayfalara atamanın bir yolu belirlenmelidir. Her bir kavram en azından sorgudaki başka bir kavramla alakalıysa; bu, olası tüm yayılım oranlarını, grafik altındaki bağlı bileşenlerin bir koleksiyonunu, sayfa alt-grafiği “s” sorgusuna göre dikkate almakla eşdeğerdir.

## 7. ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

MSS'in önerilmesinin nedeni, "InFood" veya "FoodWiki" gibi gıda odaklı mobil uygulamaların yanısıra kalp hastalığı uygulamaları, diyet uygulamaları vs. için Hadoop kullanan kapsamlı bir bilgi tabanlı arama hizmeti sunmasıdır. Ayrıca, "FoodWiki sistemi, müşterilerin farklı risk grupları için uygun olmayan ambalajlı gıdaların içindeki yan etkilili bileşenleri ya da gıda katkı maddelerini incelemek için bir web hizmeti olarak mobil uygulama arayüzünü kullanmalarını sağlayacaktır [11]." Bu uygulamaların sayısı artmaktadır; ancak gıda güvenliği için çok kapsamlı bir veri tabanı eksikliği olması, bilgi tabanlı ve bu uygulamalarda daha anlamlı sorgulamalar sunan, aranabilir, ölçeklenebilir ve güçlü bir veri tabanı olması MSS'in önerilmesini sağlamıştır.

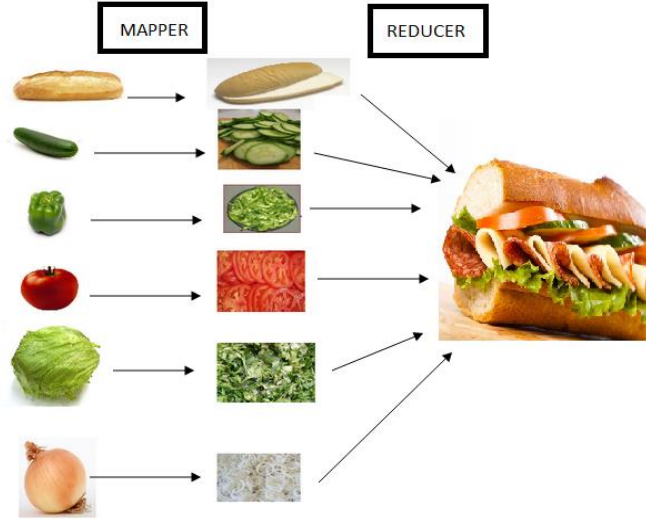
Girdi, bölme, haritalama, indirgeme ve çıktıdan oluşan MR iş akışı Şekil 12'de gösterilmektedir. Öncelikle Girdi (input) yapıldıktan sonra yığınlara (chunk) bölünmektedir. Daha sonra yığınlardan haritalama (map) işlemine geçilir ve işler burada ayrıştırılır. Sonuçta kalıplara (pattern) indirgenmiş olan veri çıktı olarak (output) karşımıza çıkar.



Şekil 12. MapReduce (MR) Akışı.

Haritalama, İndirgeme Algoritması Şekil 13'te temsili olarak gösterilmektedir. Veriler haritalanıp indirgeme işleminden sonra anlamlı hale gelip kullanıcıya ulaşır.

## Comparative Analysis



Şekil 13. MapReduce (MR) temsili.

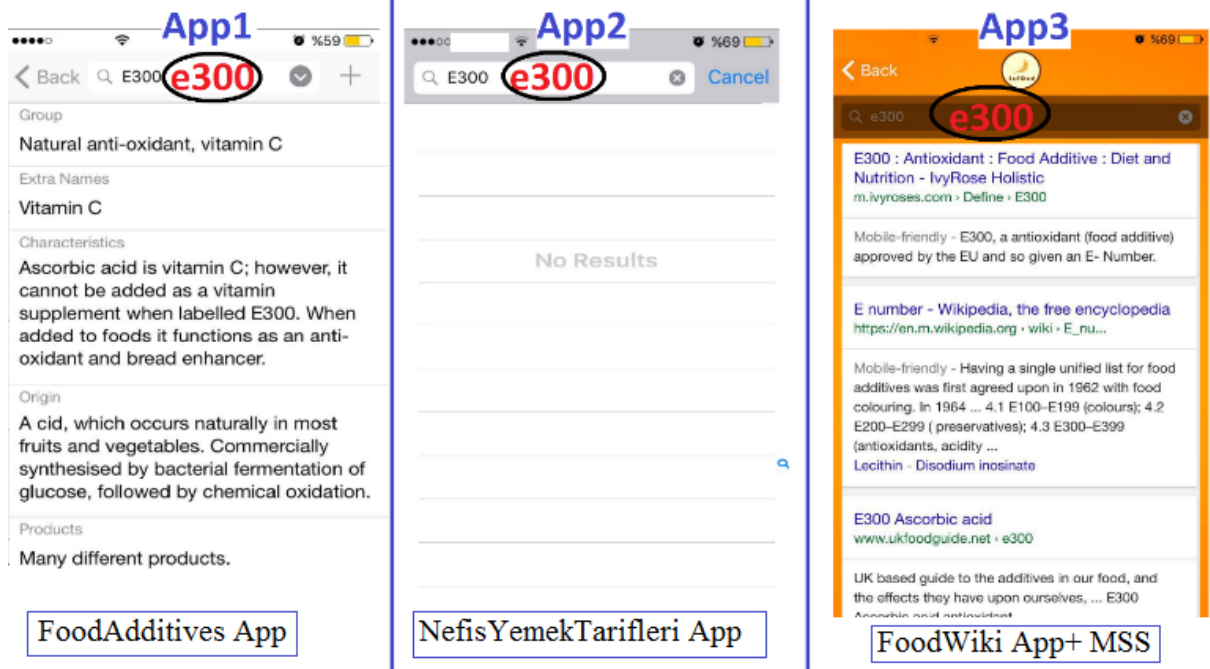
### 7.1. Değerlendirme

Bu çalışmada indeksleme ve kataloglama için gıda ile ilgili veriyi geliştirmek adına yapılan uğraşların ardından, arka planda bir süreç olarak çalışabilen, mobil uygulamalar için hizmet sağlayıcı olan MSS'in kullanımı sunulmaktadır. Özetle birçok araçtan yararlanılmıştır. MR programlama çerçevesinin kullanılmasının başlıca nedeni, bağlantılı verileri işlemek için görevleri hızlandırılmasını sağlamasıdır. Yukarıda belirtildiği gibi, Hadoop platformu kısa sürede büyük miktarda veriyi işleyebilir. MSS, Hadoop ve MR olmadan kolayca erişilemeyen birçok bilgi işlem düğümü arasında paylaşılacak verilere ihtiyaç duyar. Değerlendirme incelemesi için odaklanılan noktalardan biri bağlantı düzeyidir. Geleneksel arama motorlarında, bağlantılılık basit bir adımdan başka bir şey değildir. Örneğin; eğer “A” ve “B” aranıyor ve belgede tam olarak “A” ve “B” terimleri bulunuyorsa, bu bağlantılı anlamına gelir. Oysaki akıllı arama motorları, semantik tonları da dikkate alarak, arayan kişilerin sorgularıyla sonuçları eşleştirir. Bağlantıyı etkileyen yüzlerce faktör olduğu için, “A” ile “B”nin eşleşmesinden daha fazlasını vermektedir. Semantik arama sayesinde, artık arama motorları sorgulara daha akıllıca yanıtlar verebilmektedir.

MSS, güvenli gıda ile ilgili her türlü arama isteğini bulabilmektedir. Şekil 14'te, üç farklı mobil uygulamada aynı arama isteği “E300” gösterilmektedir. Bu örnekte gösterilen uygulamaların karşılaştırılma nedeni MSS'in diğer arama motorlarına göre daha anlamlı ve geniş sonuçlara erişiyor olmasıdır. Açıkça görüldüğü gibi, sonuçlar birbirinden farklıdır. App1 (Foodadditives App) gıda katkı maddeleri için geliştirilen ve halkın kullanımına sunulan bir mobil uygulamadır. Sorgu yapan kullanıcıya gıda katkı maddeleri hakkında bilgi sağlamak için uygulama kendi veri tabanından faydalanmaktadır. Ancak MSS gibi bilgi tabanlı bir web servisi hizmetinden herhangi bir şekilde yararlanmadığından kullanıcıya döndürülen sonuçlar sınırlı olabilmektedir.

App2 ise sadece yemek tarifleri üzerine odaklanan bir mobil uygulamadır. MSS'ten yararlanmayan bu uygulama gıda katkı maddeleri hakkında herhangi bir bilgiye ulaşamamaktadır (bkz. Şekil 14, App2). App3 ise gıda katkı maddeleri hakkında arama yapan bir mobil uygulama olan FoodWiki uygulamasıdır. Bu uygulama MSS bilgi tabanlı web servisi hizmetinden yararlanmaktadır. MSS FoodWiki uygulaması arkasında bir fonksiyon olarak işlev görmektedir. Gıda katkı maddeleri ile ilgili gönderilen sorgularda mesela E300, kullanıcıya anlamlı sonuçlar gösterilecektir. FoodWiki kendine gelen anahtar kelimeleri

doğrudan, bilgi tabanlı bir web servisi hizmeti olan MSS'ye göndermektedir. MSS ise Şekil 3' teki çalışma prensibine göre kendi bünyesinde bulunan tüm ilgili web sayfalarını FoodWiki uygulamasına yeni bir arayüz üzerinden göndermektedir. Sonuç olarak FoodWiki gibi uygulamalar MSS gibi web servisi hizmetlerini kullanarak bilgiyi doğrudan alıcılara sunmak gayesini taşırlar.



Şekil 14. Üç mobil uygulamanın karşılaştırılması.

## 8. SONUÇ

Bu makalede mobil uygulamalar için bir gıda tüketim arama hizmeti olan MSS tanımlanmıştır. Tasarımı, gelişimi ve kullanımı vurgulanmıştır. Örnek olay incelemesinin bulguları gösterilmiştir. MSS incelemesi sonucunda MSS'teki arama terimlerinin ve verinin çoğunun mobil uygulama geliştiricileri tarafından aranan güvenli gıda, gıda katkı maddeleri ve zararlı gıdalar ile ilgili olduğunu göstermiştir. MSS'in yapılandırılmış verileri içeren çok büyük bir veritabanı sağlayarak e-sağlık mobil uygulaması için oldukça yararlı olduğu düşünülmektedir. MSS tarafından çıkarılan sonuçların oldukça adil ve tarafsız olduğu öne sürülebilir. MSS'in gizliliği önemseyen, bilinçli bir arama hizmeti olduğu vaat edilmektedir. MSS; insanları kandırmaya yönelik bir sakınca, reklam, korsan dağıtım ya da spam bağlantılar içermez. Gelecekte MSS'i geliştirmek için kullanıcı davranışlarının analiz edilmesi ve buna bağlı gerekli adımların atılması muhakkaktır. "Standart Web arama hizmetleri yararlı olsa da ideallikten uzaktır [12]". MSS'in Hadoop'un da gücüyle e-sağlık konusunda en iyi olması umut vericidir. İnsanlar, gıda ve gıda katkı maddelerinin içeriğini merak ettiklerinde bu gibi e-sağlık mobil uygulamalarını kullanmaktadır.

Bu çalışmada Hadoop ve MR'ın büyük ölçekli bilgi alımı için nasıl kullanılacağı gösterilmiştir. MSS'in öncülük ettiği yeni bir yaklaşım ile veriyi analiz etme, işleme ve kullanıcıya döndürme, hedefi ortaya konulmaktadır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, dikey arama motorları ve diğer gıda tabanlı uygulamalar için akıllı sorgular yapan, kullanıcıya anlamlı sonuçlar veren ve Hadoop mimarisinden yararlanan bir arama hizmetinin diğer bütün çalışmalar için ön ayak olması hedeflenmiştir. Bu yönüyle

## Comparative Analysis

literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. MSS bu özelliklerinden ötürü içerik temelli yöntemler kullanıldığı için ileriki çalışmalarda umut ışığı anlamına gelmektedir.

### KAYNAKÇA

- [1] Doğan, Mustafa. Büyük Veri'nin kişiler ve kurumlar üzerindeki etkileri. Diss. İstanbul Bilgi Üniversitesi, 2014.
- [2] Suel, T., et al. ODISSEA: A Peer-to-Peer Architecture for Scalable Web Search and Information Retrieval. In WebDB. 2003.
- [3] Wu, X., et al., Data mining with big data. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 2014. 26(1): p. 97-107.
- [4] Fitzgerald, J., et al., Validated designs for object-oriented systems. 2005: Springer Science & Business Media.
- [5] Ganesh, S., et al. Ontology-based web crawler. In Information Technology: Coding and Computing, 2004. Proceedings. ITCC 2004. International Conference on. 2004. IEEE.
- [6] Huang, Eric H., et al. "Improving word representations via global context and multiple word prototypes." Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Long Papers-Volume 1. Association for Computational Linguistics, 2012.
- [7] Brin, S. and L. Page, Reprint of: The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. Computer networks, 2012. 56(18): p. 3825-3833.
- [8] Kuchiki, A. and H. Tsukada, Flowchart Approach to Industrial Cluster Policy: Guangzhou's Automobile Industry Cluster, In The Flowchart Approach to Industrial Cluster Policy. 2008, Springer. pp. 41-70.
- [9] Ciganovic-Jankovic, D., T. Banek, and D. Milicic, Link analysis algorithms (HITS and PageRank) in the information retrieval context. Text Analysis and Retrieval 2014: p. 24.
- [10] Cho, J., H. Garcia-Molina, and L. Page, Efficient crawling through URL ordering. 1998.
- [11] Ertuğrul, D.Ç., FoodWiki: a Mobile App Examines Side Effects of Food Additives Via Semantic Web. Journal of medical systems, 2016. 40(2): pp. 1-15.
- [12] Jansen, B.J., A. Spink, and T. Saracevic, Real life, real users, and real needs: a study and analysis of user queries on the web. Information processing & management, 2000. 36(2): p. 207-227.



## An intelligent Approach to Combinational Load Shedding with Tracing

### Reactive Power based on Genetic Algorithm

Ghazanfar SHAHGHOIAN\*, Bahman ZAHEDI

*Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University Najafabad, Isfahan, Iran*

Received: 24.07.2016; Accepted: 18.11.2016

**Abstract.** Stability of both voltage and frequency in power systems is the basis of the electricity generation. Load shedding is one the last strategies to stabilize a power system. However, the conventional load shedding schemes do not consider the reactive power as a direct participation in load shedding, which is essential for the voltage stability. To fill this gap, we propose a new combinational under frequency load shedding (UFLS) and Under Voltage Load Shedding (UVLS), considering reactive and active power simultaneously, and using non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA II) in this paper. The location of bus loads, the reactive power and the active power consumption at each bus are used as GA control variables. This method is tested on the modified IEEE 39-bus system. The results of simulations validate the proficiency of proposed method in stabilizing the frequency and voltage of the power system.

**Keywords:** Power system stability, Genetic algorithms, frequency load shedding, voltage load shedding

## Genetik Algoritma Tabanlı İzleme Reaktif Güçlü Bileşimli Yük Atması için Akıllı bir Yaklaşım

**Özet.** Güç sistemlerinde gerilim ve frekansın dengesi elektrik üretiminin temelini oluşturur. Yük atma, bir güç sistemini stabilize etmek için son stratejilerden biridir. Bununla birlikte, geleneksel yük atma planları, reaktif gücün, gerilim kararlılığı için, gerekli olan yük dökülmesine doğrudan katılım olarak düşünmemektedir. Bu boşluğu doldurmak için, aynı anda reaktif ve aktif güç dikkate alınarak ve frekans yük atma (UFLS) ve Düşük Voltaj Yük Atma (UVLS) altında yeni bir kombinasyonel yöntem önerilmiş ve bu makalede dominant olmayan sıralama genetik algoritması (NSGA II) kullanılmıştır. Veri yolu yüklerinin konumu, reaktif güç ve her veri yolundaki aktif güç tüketimi GA kontrol değişkenleri olarak kullanılır. Bu yöntem, değiştirilmiş IEEE 39-veri yolu sisteminde test edilmiştir. Simülasyonların sonuçları, güç sisteminin frekansını ve voltajını dengelemek için önerilen yöntemin yeterliliğini doğrulamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Güç sistemi kararlılığı, Genetik algoritmalar, frekans yük atması, voltaj yükü atması

### 1. INTRODUCTION

Increasing of large disturbances has resulted in incremental utilization of under frequency load shedding (UFLS) and under voltage load shedding (UVLS) in comparison with the past [1,2]. Usually, these two schemes work independently from each other, and are not designed in an integrated way to exploit their combined effect on load shedding [3]. Combinational load shedding schemes cope with large disturbances more effectively, as they use more controlling parameters of power systems [4,5].

The best method of load shedding in a power system is a technique to shed fewer burdens in a shorter time to retain the transient constancy of the power system. This is what that the conventional load shedding schemes are incapable of dealing with, for the reason that they are too dilatory and also they may shed loads more than sufficient amount [6] and [7]. Intelligent networks are employed to recognize the best shedding approach to optimize the time taking and the amount of load shedding. Genetic algorithm (GA) is one of the intelligent analytical methods that has been employed extensively in load shedding [8,9]. Since the performance of the GA is based on the maximum/minimum amount of adaptation of data to an objective function; it could play an effective role to reduce the number of load

\* Corresponding author. *Email address:* shahgholian@iaun.ac.ir

buses disconnection in a power system. In [10] GA is employed to minimize the shed load using under frequency relays so that the shed load at the first stage is the largest amount and the shed loads at the subsequent stages decrease gradually. In [11], utilizes GA to optimize load shedding and decide how to restore power supply after its outage. In [12], GA is exploited to optimize the coordinated voltage control in combinational hard conditions that tested on IEEE 39-bus test system. In [13], applies GA to control load frequency owing the fact that it could be designed for non-linear parameters controlling in a power system. However, reactive power information is employed rarely in load shedding plans, unexpectedly in current intelligent and combinational schemes that leads to deficiency of load shedding strategies.

Reactive power tracing effect on determination of the power system stability along with assessment of other parameters, suitable buses recognition, and minimum reactive and active power to be shed is utilized in this paper to reduce the time and the amount of load shedding. The modified IEEE 39-Bus system is employed to assess the proposed load shedding scheme. The results corroborate an optimal efficient load shedding method. The structure of this paper is organized as follows: necessity of utilization of a combinational load shedding is described in Section II. The determination method of Load shedding distribution is introduced in Section III, while Section IV represents a Genetic Algorithm employed in this paper. Section V gives a summarized description of load shedding distribution schemes compared in this paper. Test system for the assessment of the proposed load shedding method is introduced in Section VI, and Section VII depicts simulated results. Section VIII summarizes the conclusions.

## 2. COMBINATIONAL LOAD SHEDDING

Traditional load shedding methods do not have the potential to deal with combined instabilities, as discussed in [14] and [15]. Therefore combinational load shedding schemes are alternatively being used [16] and [17]. Nevertheless, the existing methods for combinational load shedding still exclude controlled reactive power from the direct participation in load shedding that results in an inefficient load shedding [18]. Since the proposed load shedding scheme in this paper is based on simultaneous voltage (reactive power) and frequency (active power) data analysis, the utilization of global triggers is recommended. For this reason we consider  $\lambda_{min}, f_c$  and  $df_c/dt$  as the trigger with corresponding thresholds:

- $\lambda_{min}$ : the minimum eigenvalue of the Jacobian matrix smaller than zero; the bus voltage magnitude limits are (0.95 pu, 1.05 pu) for the generator buses, whereas (0.9 pu, 1.1 pu) for the rest of the buses [19].
- $f_c$ : out of the normal frequency range (59.5, 60.5) Hz;
- $df_c/dt$ : the rate of change of frequency in the abnormal range of (-1.5, -0.2) Hz/s.

The rate of change of frequency is calculated as in Eq. (1) and Eq. (2) as described in [16]:

$$\Delta P = \frac{2 \sum_{i=1}^N H_i \cdot S_i}{f_n} \cdot \frac{df_c}{dt} = \xi \frac{df_c}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{df_c}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i \cdot S_i \cdot \frac{df_{Gi}}{dt}}{\sum_{i=1}^N H_i \cdot S_i} \quad (2)$$

where  $\Delta P$  is total active power imbalance (pu.),  $H_i$  is inertia constant of the  $i$ th generator;  $S_i$  is rated apparent power of the  $i$ th generator;  $f_n$  is rated system frequency (60 Hz);  $f_{Gi}$  is frequency of the  $i$ th generator;  $f_c$  is frequency for the equivalent inertia center;  $N$  is the total number of generators.  $\xi$  is a constant value:



$$\xi = \frac{2}{f_n} \sum_{i=1}^N H_i \cdot S_i \quad (3)$$

### 3. IMPROVED POWER IMBALANCE ESTIMATION

In the classic system frequency response (SFR) model, only inertia constant of generator and frequency information is considered [20, 21]. However, as discussed in [7] and suggested in [22], the load model with voltage and frequency dependence should also be included in the design for UFLS in order to achieve accurate active power imbalance estimation. Since the voltage variation is always much faster and larger than the change of frequency [16] and [7], only the voltage dependence of the load model as it is explained in (3), is applied to the load shedding scheme in [16] and [7]. Based on this load model, the method proposed in [7] is adopted in this paper to improve both active power and reactive power imbalance estimation. This amount of active power and reactive power can be employed as fundamental loads that should be shed after each scenario.

$$S_{Lj} = \sqrt{(P_{Lj})^2 + (Q_{Lj})^2} = \sqrt{\left(P_{L0,j} \times \left(\frac{V_j}{V_{0,j}}\right)^{\alpha_j}\right)^2 + \left(Q_{L0,j} \times \left(\frac{V_j}{V_{0,j}}\right)^{\beta_j}\right)^2} \quad (4)$$

where  $S_{Lj}$  is rated apparent power of the  $j$ th load bus;  $P_{Lj}$  and  $Q_{Lj}$  are the current active and reactive power load of the  $j$ th load bus, respectively;  $P_{L0,j}$  and  $Q_{L0,j}$  are the initial active and reactive power load of the  $j$ th load bus before the disturbance, respectively;  $P_L$  and  $Q_L$  are the current total active and reactive power load of all the buses, respectively;  $V_j$  is the current voltage magnitude of the  $j$ th load bus after the disturbance;  $V_{0,j}$  is the initial voltage magnitude of the  $j$ th load bus before the disturbance;  $\alpha_j$  and  $\beta_j$  are factors that depict the active and reactive power dependence of the load on voltage deviations, which are set to 1 and 2, respectively, as introduced in [6];  $M$  is total number of load buses. It is necessary to stress that in reality, the factors  $\alpha_j$  and  $\beta_j$  are usually not zero and vary not only from one part of the system to another but also from time to time. As mentioned in [16], the total active power imbalance of all the generators considering the voltage dependent load modeling is defined as

$$\Delta P_{deficit} = \Delta P + \sum_{j=1}^M P_{L0,j} \times \left[ \left(\frac{V_j}{V_{0,j}}\right)^{\alpha_j} - 1 \right] \quad (5)$$

where  $\Delta P$  is the total active power imbalance of all the generators based on the classic SFR model, neglecting the voltage dependence and frequency. Under the assumption that the power factor between the total active power deficit  $\Delta P_{deficit}$  and reactive power deficit  $\Delta Q_{deficit}$  is identical to the one between total active power load  $P_{L0}$  and reactive power load  $Q_{L0}$  before load shedding, once  $\Delta P_{deficit}$  is estimated by Eq. (4), it is proposed to calculate  $\Delta Q_{deficit}$  as follows:

$$\Delta Q_{deficit} = \frac{Q_{L0}}{P_{L0}} \cdot \Delta P_{deficit} \quad (6)$$

V-Q sensitivity at bus  $j$  can be computed by:

$$VQS_j = \frac{\partial V_j}{\partial Q_j} \quad (7)$$

where  $V_j$  and  $Q_j$  are voltage and reactive power at bus  $j$ , respectively. A positive value of the  $VQS_j$  presents that the relationship between the change of voltage and the change of reactive power is stable at the bus and the voltage is more sensitive to reactive power variation as increases. A negative value of  $VQS_j$  represents an unstable operating condition.

To consider active and reactive power information jointly in the determination load shedding distribution strategy, two indices, the load shedding distribution factor for active power (LSDFP) and load shedding distribution factor for reactive power (LSDFQ) for the load buses, are defined. LSDFP and LSDFQ can be obtained by Eq. (7), which is proportional to the total active and reactive power imbalance, respectively, as indicated in Eq. (8). As observed in Eq. (7), information about frequency and active power are included in LSDFP, while voltage and reactive power information are calculated together for LSDFQ [16].

$$\left\{ \begin{array}{l} LSDFP_j = \frac{\Delta f_{Lj} \cdot P_j}{\sum_{j=1}^M (\Delta f_{Lj} \cdot P_j)} \\ LSDFQ_j = \frac{VQS_j \cdot Q_j}{\sum_{j=1}^M (VQS_j \cdot Q_j)} \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{Lj} = \Delta P_{deficit} \cdot LSDFP_j \\ \Delta Q_{Lj} = \Delta Q_{deficit} \cdot LSDFQ_j \end{array} \right. \quad (9)$$

where  $\Delta f_{Lj}$  is frequency deviation to the rated frequency (60 Hz in this paper) of the  $j$ th load bus.

#### 4. SECOND EDITION OF MULTI OBJECTIVE GENETIC ALGORITHM

The second edition of Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) is a multi-objective GA that is employed for load shedding adoption and identification of the weakest load buses of the test power system, in case of disturbances, which is using a set of solutions (Pareto Front), instead of a single one. A main objective function and a sub-function are determined to optimize the load shedding scheme using NSGA-II. The main objective function is considered as in Eq. (9), and the sub-function is defined by the equation Eq. (10), as described in [10]:

$$F_{main} = \sum_{i=1}^N \sqrt{P_{G0,i}^2 + Q_{G0,i}^2} - \sum_{i=1}^N \sqrt{(P_{Gi}^c)^2 + (Q_{Gi}^c)^2} \quad (10)$$

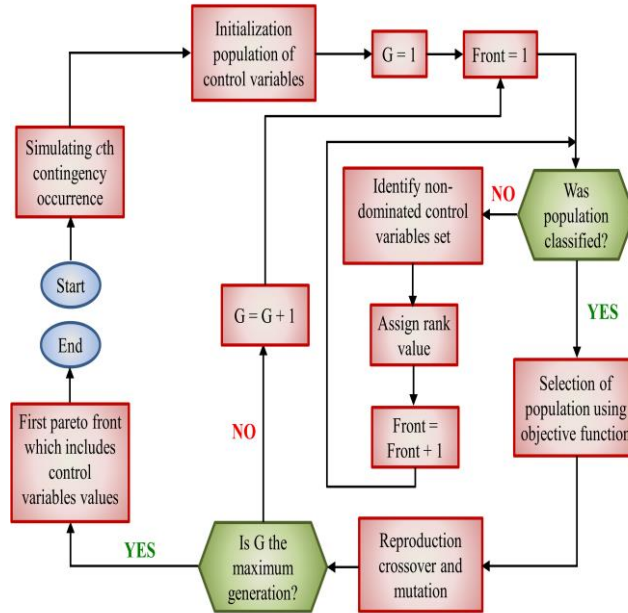
$$F_{aux} = \beta^* \cdot \sum_{j=1}^M \alpha_j^* ([P_{L0,j} - P_{Lj}^c] + [Q_{L0,j} - Q_{Lj}^c]) \quad (11)$$

where  $G$ ,  $L$  and  $C$  are generator, load and contingency indices, respectively;  $P_{G0,i}$  and  $Q_{G0,i}$  are the pre-disturbance active and reactive power generation of the  $i$ th bus;  $P_{Gi}^c$  and  $Q_{Gi}^c$  are the current active and reactive power generation of the  $i$ th bus, related to the  $c$ th contingency;  $P_{Lj}^c$  and  $Q_{Lj}^c$  are the current active and reactive power load of the  $j$ th load bus, related to the  $c$ th contingency;  $\beta^*$  is a constant parameter to make  $F_{aux}$  as close as possible to  $F_{main}$ ;  $\alpha_j^*$  is the importance index computed so that the greatest amount of load shedding belongs to the weakest load buses. According to Eq. (3) the weakest load buses are the ones that are highly affected by a specific disturbance. (i.e. there is the most difference between the current voltage magnitude of the  $j$ th load bus after the disturbance and the initial voltage

magnitude of the  $j$ th load bus before the disturbance).  $\alpha_j^*$  is defined as Eq. (11); where  $\gamma$  is the difference between the absolute value of the current voltage magnitude of the  $j$ th load bus after a disturbance to the initial voltage magnitude of the  $j$ th load bus before the disturbance and number 1.

$$\alpha_j^* = \begin{cases} 1 & , \quad 0 \leq \gamma < 0.2 \\ 3 & , \quad 0.2 \leq \gamma < 0.5 \\ 6 & , \quad 0.5 \leq \gamma < 0.8 \\ 8 & , \quad 0.8 \leq \gamma \leq 1 \end{cases} \quad (12)$$

The selected weakest load buses for the first stage of load shedding and the amount of both active power and reactive power that must be shed from these load buses are defined as GA controlled variables. A summary of NSGA-II performance to recognize the weakest load buses and the amount of active power and reactive power of the  $j$ th load bus that must be shed from the selected weakest load buses is described in Fig. 1.



**Fig. 1.** Basic steps of the NSGA-II employed to minimize the combinational load shedding problem [13].

## 5. CLASSIFICATION OF LOAD SHEDDING METHODS

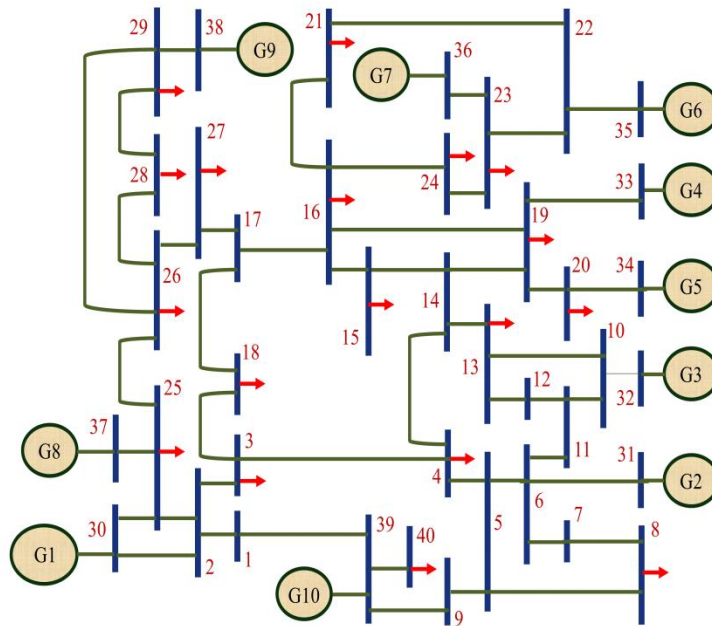
Conventional load shedding distribution schemes do not consider reactive power information in the load shedding directly. In this paper, we compare the load shedding distribution method using power flow tracing to identify the active and reactive power imbalance denotes (M1), which it was introduced in [16] as the best load shedding method, and the proposed load shedding distribution method using GA to identify the weakest buses denotes (M2). These two methods in addition to all the necessary information for each load shedding distribution method are summarized in Table I. M1: corresponds to distribution method as defined in Eq. (7) and Eq. (8), proposed in [16]; M2: corresponds to the distribution method as mainly defined in Eq. (9)–(11), proposed in this paper.

**Table I.** Classification of methods for load shedding.

L.S. method No.	Factors in load shedding distribution	
	LSDFP	LSDFQ
M1	Active power of $j^{\text{th}}$ bus (computed by power flow), $j^{\text{th}}$ bus frequency deviation	Reactive power of $j^{\text{th}}$ bus (computed by power flow), $j^{\text{th}}$ bus frequency deviation
M2	Active power of $j^{\text{th}}$ bus according to $(V_j/V_{o,j})^{\alpha_j}$ (computed by GA), $j^{\text{th}}$ bus frequency deviation	Reactive power of $j^{\text{th}}$ bus according to $(V_j/V_{o,j})^{\alpha_j}$ (computed by GA), $j^{\text{th}}$ bus frequency deviation

**6. SIMULATION RESULTS**

As a typical transmission network with multiple generators and loads, IEEE 39-Bus test system (New England network) is selected for the test system in this paper. According to [16], seen from Fig. 2, a small modification is applied to divide bus 39 into bus 39 with a load and bus 40 located with a generator, which are connected by a transmission line with low impedance, while the small load in bus 31 is neglected. A short summary of the network characteristics is represented in Table II. According to [19] the nominal generation of the active power and reactive power is 7066.65 MW and 1694.22 MVar, respectively, while the maximum active power and reactive power output are 8625 MW and 5345.3 MVar respectively; nominal active power consumption is 7011.66 MW and nominal reactive power consumption is 1620.22 MVar. The base power of the test system is 100 MVA.



**Fig. 2.** Topology of modified IEEE 39-Bus system [1].

**Table II.** The description about modified IEEE 39-bus system [1].

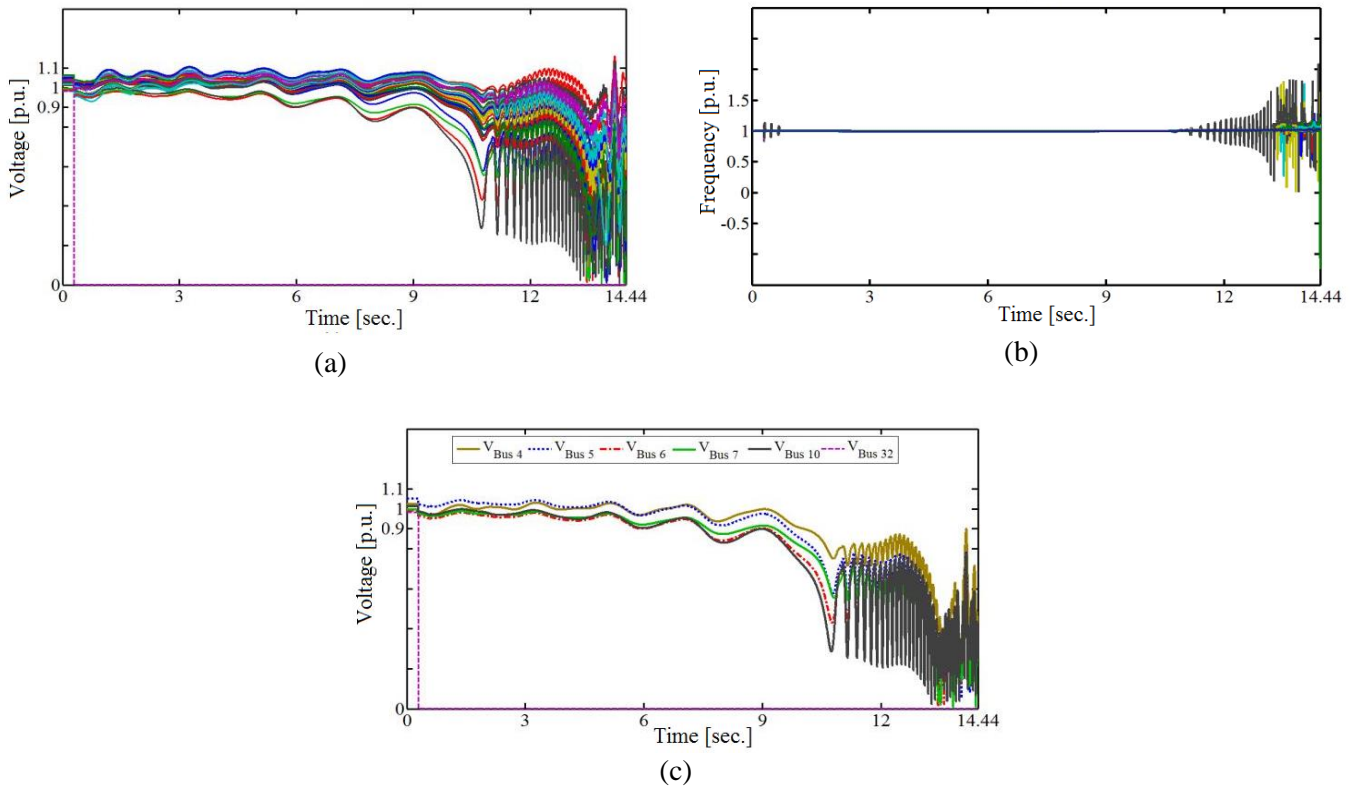
Number of buses	Number of lines	Number of loads	Number of transformers	Number of generators
40	35	18	12	10

Two different scenarios are applied to the test system to evaluate the proposed load shedding scheme in this paper (M2): (1) simultaneous trips of generator 3 and transmission line (5,6), at  $t=0.3s$  and (2) tripping of generator 3 at  $t=0.3s$  and then tripping of generator 10 at  $t=0.9s$ . The subsequent tests are carried out for comparison purpose between M1 and M2. It is considerable that there are many voltage signals according to 40 buses– could be scrutinized in each scenario. Therefore, all voltage signals will be analyzed at first and after that we concentrate on the weakest load buses that are highly affected by each scenario.

**A. Scenario No. 1**

**A-1. Test system collapse with no protective load shedding method**

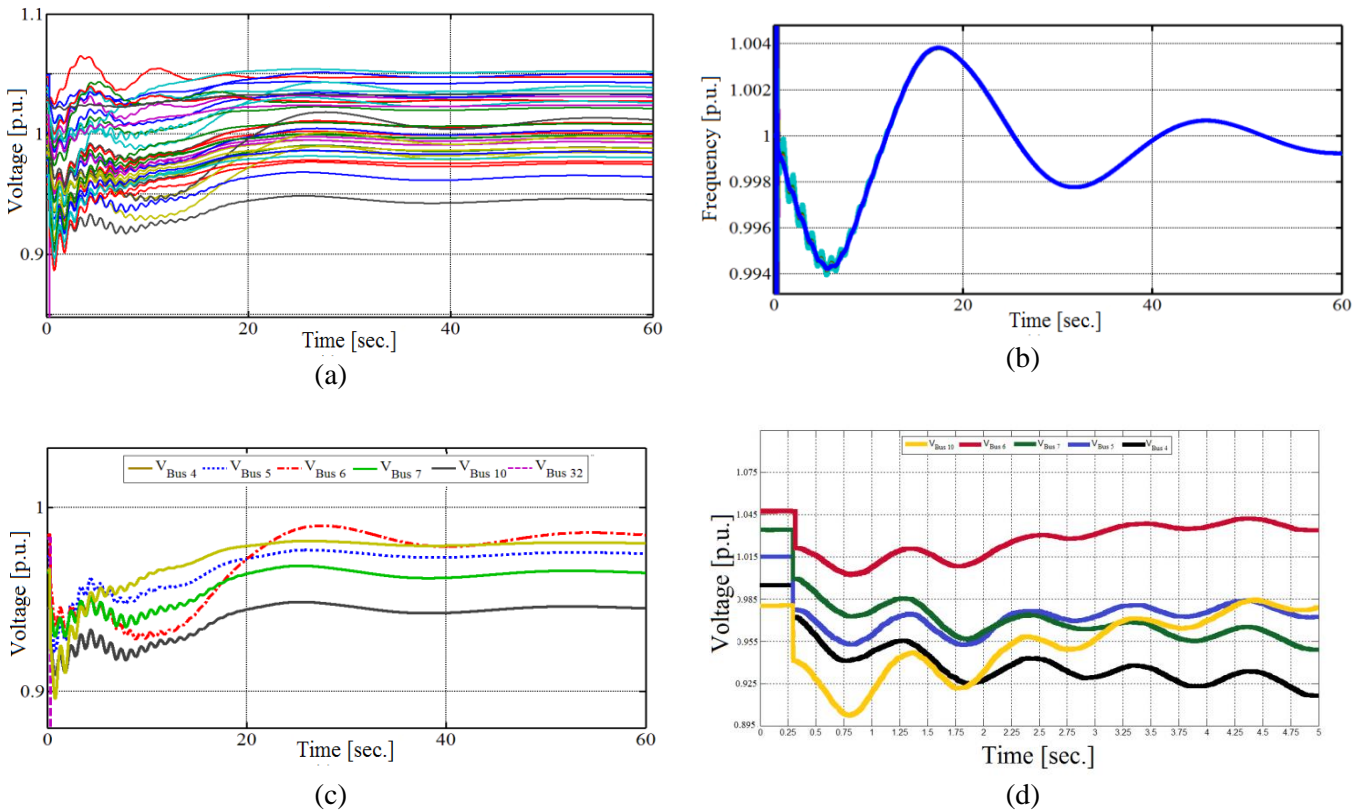
Voltage and frequency of the test system buses undergo a slight fluctuation, after the disturbance, as observed in Figs. (3-a) and (3-b). Controlling devices such as turbo-governors, Automatic Voltage Regulators (AVR’s) and Load Tap Changers (LTC’s) damp the fluctuations for approximately 10 seconds since the disturbance occurs. After this time, both the system frequency and voltage experience a severe oscillation owing to the disability of the controlling devices to cope with large disturbances. As a result of this fact, both frequency and voltage of the test power system collapse at  $t=14.44s$ . Some of the weakest load buses extremely affected by the first scenario are indicated in Fig. (3-c).



**Fig. 3.** Observation for the system collapse process after the first scenario without load shedding, (a) Voltage collapse of all buses, (b) Frequency collapse, (c) Extremely affected buses.

**A-2. Test system stability after M1 method activation**

The test power system voltage of bus 32 drops to zero point immediately and voltages of other buses experience a fluctuation approximately 0.05 pu after the disturbance as observed in Fig. (4-a). In addition, frequency of bus 32 vibrates seriously and other buses frequency undergoes a slope of 0.06 (Hz/s) as seen in Fig. (4-b). M1 method is triggered under this condition. Although, the system voltage magnitude falls down to 0.896 pu at  $t=0.88s$ , it stays at this value of voltage for only 0.04 seconds. As represented in Fig. (4-a), after this time, the rising trend of the voltage is commenced and it passes 0.9 pu, which it is the lowest allowable limit of voltage, at  $t=0.925s$ . Fig. (4-b) reports the test system frequency response after M1 scheme activation. Frequency drops seriously at  $t=0.3s$ ; however it goes upward at  $t=6s$  after employing M1 method and the fluctuation magnitude of frequency decreases gradually so that it is only 0.004 pu at  $t=17.5s$ . It is considerable that the frequency never passes its magnitude limits owing to M1 method. Fig. (4-c) confirms that the voltages of the critical buses come into the permissible range subsequent to applying M1 method at  $t=0.925s$  and never pass this limit after this time.

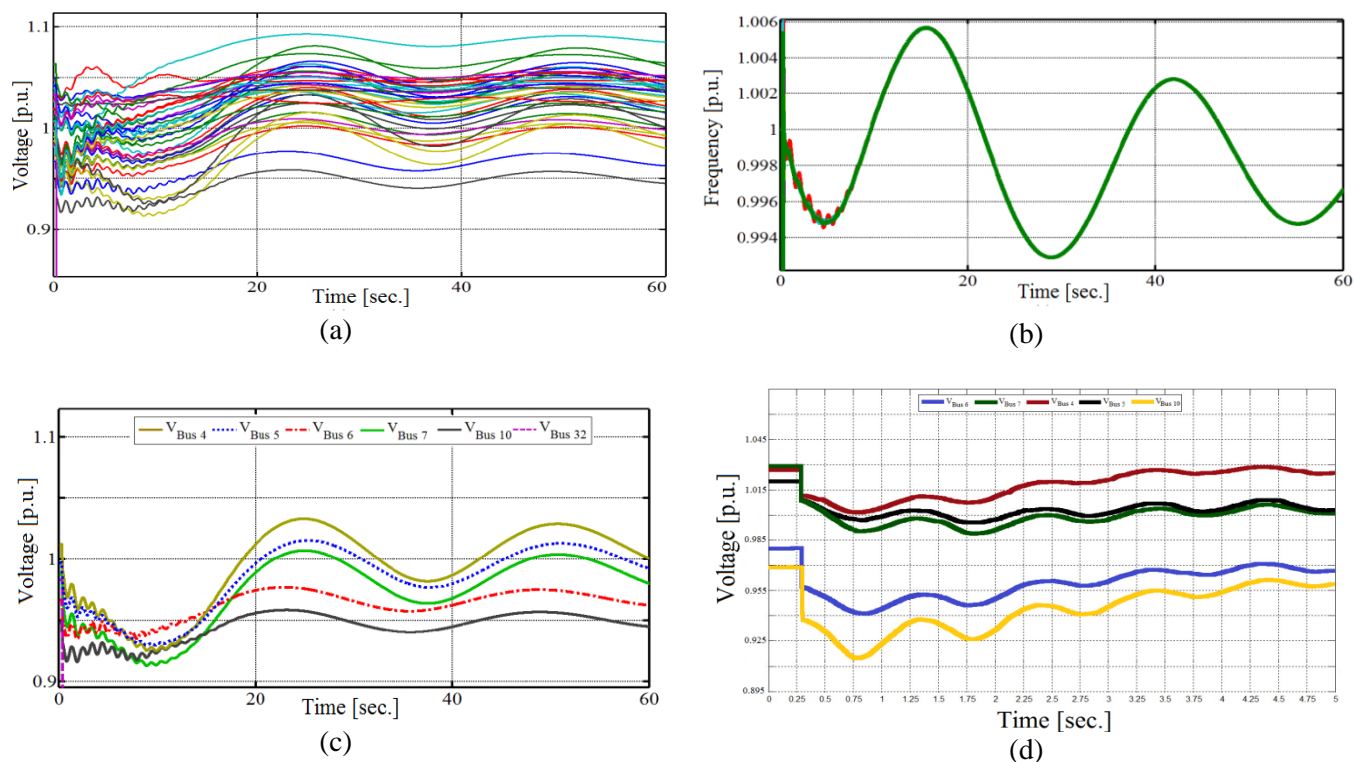


**Fig. 4.** System stability after the first scenario employing M1 method, (a) Voltage stability of all buses, (b) Frequency stability, (c) Voltage stability of the critical buses, (d) Details of voltage stability of the critical buses

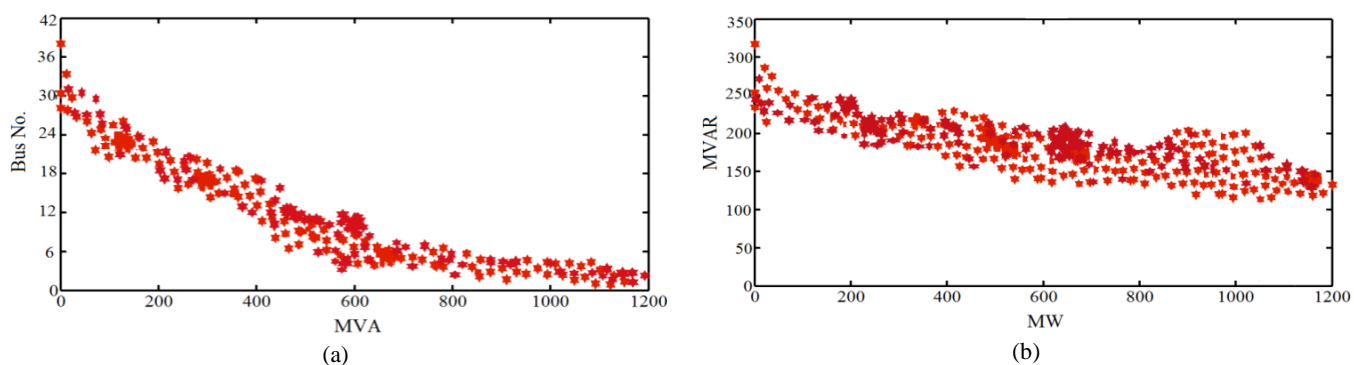
**A-3. Test system stability after M2 method activation**

Both the test system voltage and frequency suffer some serious fluctuations after occurrence of the first scenario that causes M2 method be triggered. Subsequent to M2 method activation, voltage stays in 0.91 pu at  $t=8.73s$  for 1.5 seconds, afterwards it has an advancement to the steady state point so that never passes its limit margin as demonstrated in Fig. (5-a). As observed in Fig. (5-b) the test system frequency experiences some vibrations after the first scenario and then it will be stable at  $t=7.5s$  applying M2

method. The considerable fact about the test system frequency is that it never departs its permissible range actuating M2 method. Fig. (5-c) illustrates the voltage compoment of the critical buses after M2 method activation. It is considerable that the voltage magnitudes of the last mentioned buses settle under one per-unit after applying M1 method. While on the contrary, by means of actuating M2 method, the voltage magnitudes of the critical load buses come into contact with levels greater than one per-unit several times. This is a good reason why M2 method has a better performance when it confronts the first scenario. Fig. (6-a) depicts the employed total Pareto Fronts in order to select the weakest load buses to start load shedding from, while Fig. (6-b) represents the set of Pareto Fronts for shedding of active and reactive powers, after M2 method activation following the first scenario.



**Fig. 5.** System stability after the first scenario employing M2 method, (a) Voltage stability of all buses, (b) Frequency stability, (c) Voltage stability of the critical buses, (d) Details of voltage stability of the critical buses



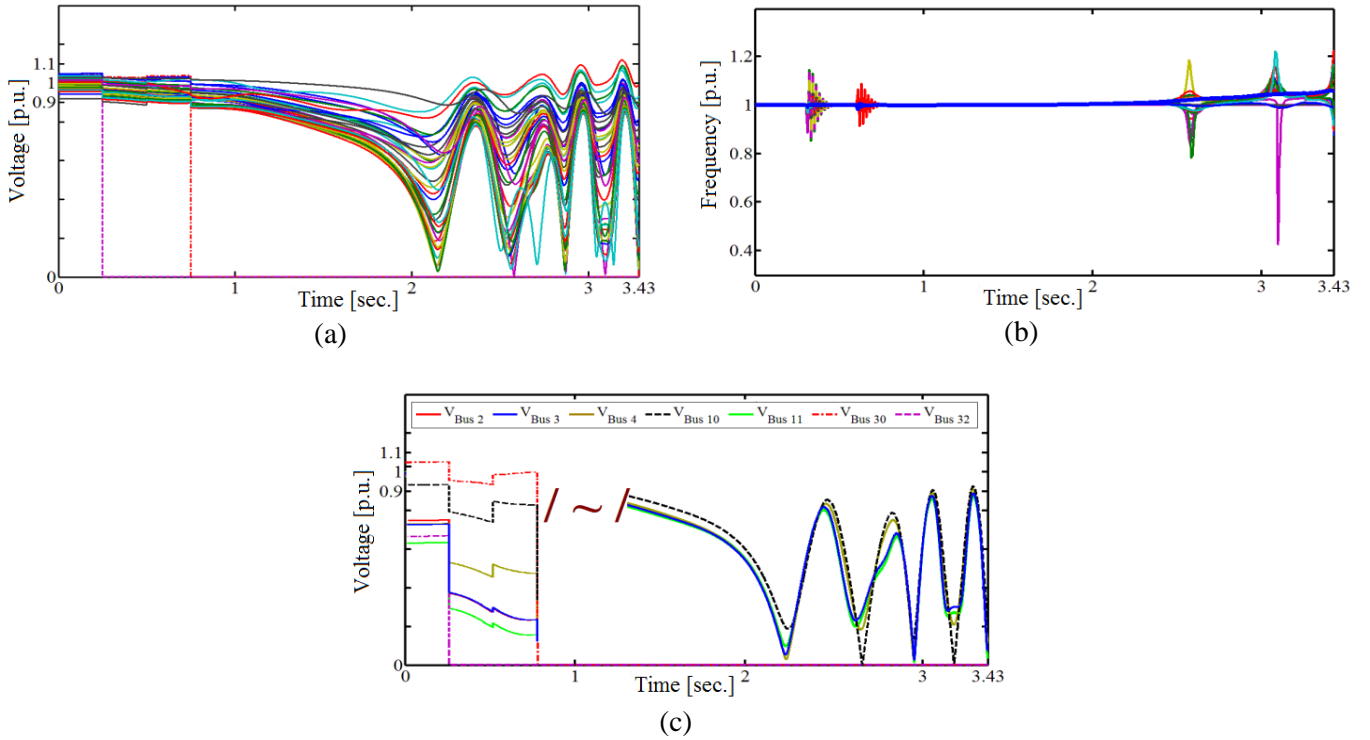
**Fig. 6.** The total Pareto Fronts after the first scenario utilizing M2 method, (a) Selecting of the weakest load buses to commence load shedding, (b) Estimation of active and reactive powers to be shed from the selected load buses.



**B. Scenario No. 2**

**B-1. Test system collapse with no protective load shedding method**

The voltage of the test system drops approximately 0.15 pu subsequent to the trip of G3 at  $t=0.3s$ ; consequently, controlling devices are activated to compensate this fall in a short time. As represented in Fig. (7-a), after G10 outage, the test system experiences another voltage drop one more time. The Controlling devices prevent the test power system from collapsing for only 0.3 seconds after G10 outage that results in the second voltage drop at  $t=1.2s$ , and eventually the total voltage collapse occurs at  $t=3.43s$ . The test system frequency deviates after both G3 and G10 trips as observed in Fig. (7-b). Frequency fluctuation magnitude is restricted in the preset range utilizing controlling devices at  $t=1s$ . Although, the persisting disturbance leads to increasing fluctuation magnitude at  $t=2.2s$  once more and ultimately, the test system frequency collapses at  $t=3.43s$ . Considering the test system collapse condition after the second scenario, it is a demanding challenge that M1 and M2 methods will have to confront with. Voltages of some most affected buses are shown in Fig. (7-c).



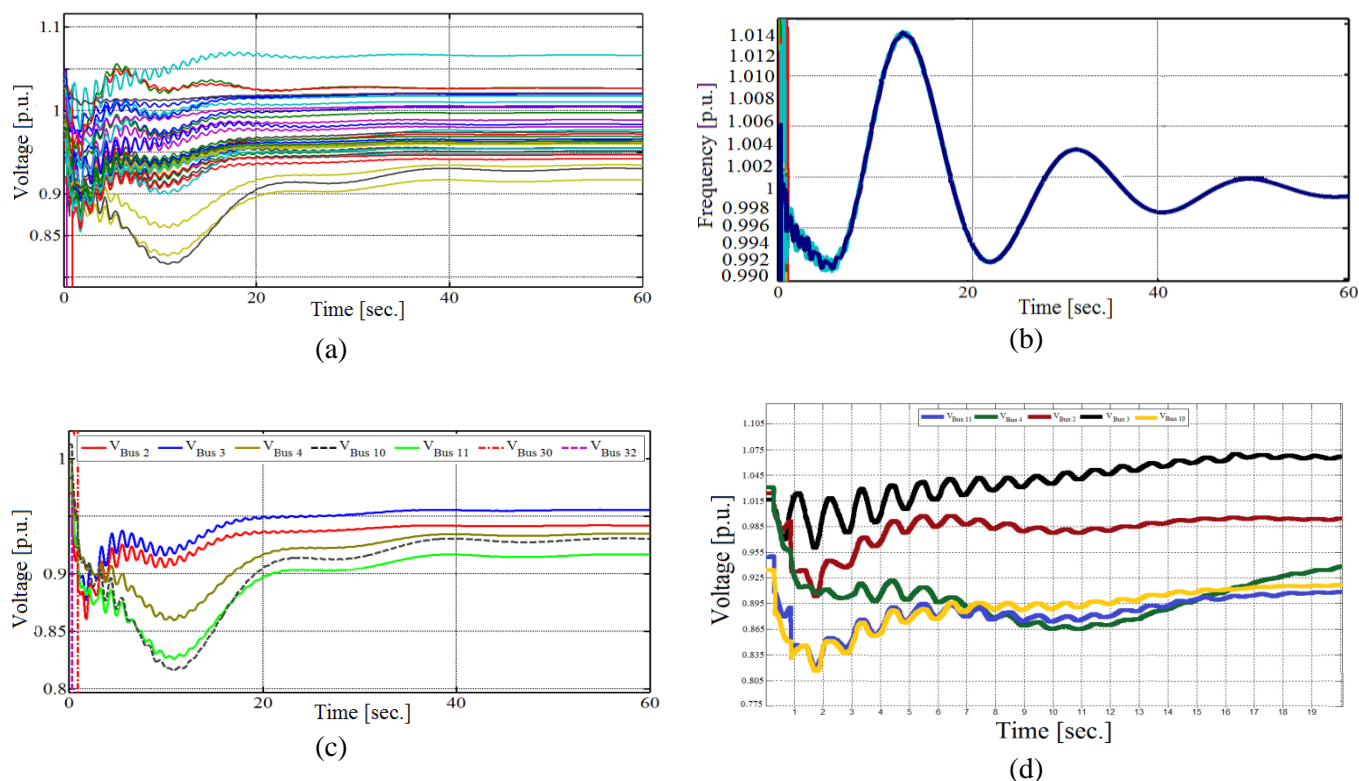
**Fig. 7.** System collapse after the second scenario without load shedding, (a) Voltage collapse of all buses, (b) Frequency collapse, (c) Extremely affected buses.

**B-2. Test system stability after M1 method activation**

M1 method is activated after G3 outage, and commences to shed loads according to Table I to achieve the power system stability once more. The first load shedding stage of M1 method prevents the voltage magnitude reduction after 0.3 seconds. G10 trip causes the voltage magnitude to decrease one more time at  $t=0.9s$  that triggers the second stage of load shedding of M1 method. M1 method is not capable of stabilizing the test system in the first stage of load shedding, due to the short interval between G3 and G10 trips. For this reason the further voltage fluctuation starts at  $t=6s$ . As considered in Fig. (8-a), the voltage magnitude meets 0.816 pu at  $t=10.9s$  despite M1 activation. Notwithstanding M1 method struggle to increase voltage magnitude at about 11 seconds after G10 outage by means of progressive



load shedding, it requires approximately 20 seconds to augment bus voltages up to 0.9 pu. The test system frequency component is not much satisfactory after the first load shedding phase of M1 method. G10 outage intensifies the frequency fluctuations one more time. Seen from Fig. (8-b) these disturbances have acute influences on the test frequency stability that prohibits it from approaching the permissible limit until  $t=23.3$  s, despite the fact that M1 method is activated currently. Voltages component of the critical buses introduced in Fig. (7-c) is analyzed in Fig. (8-c) after M1 method activation under the second scenario.

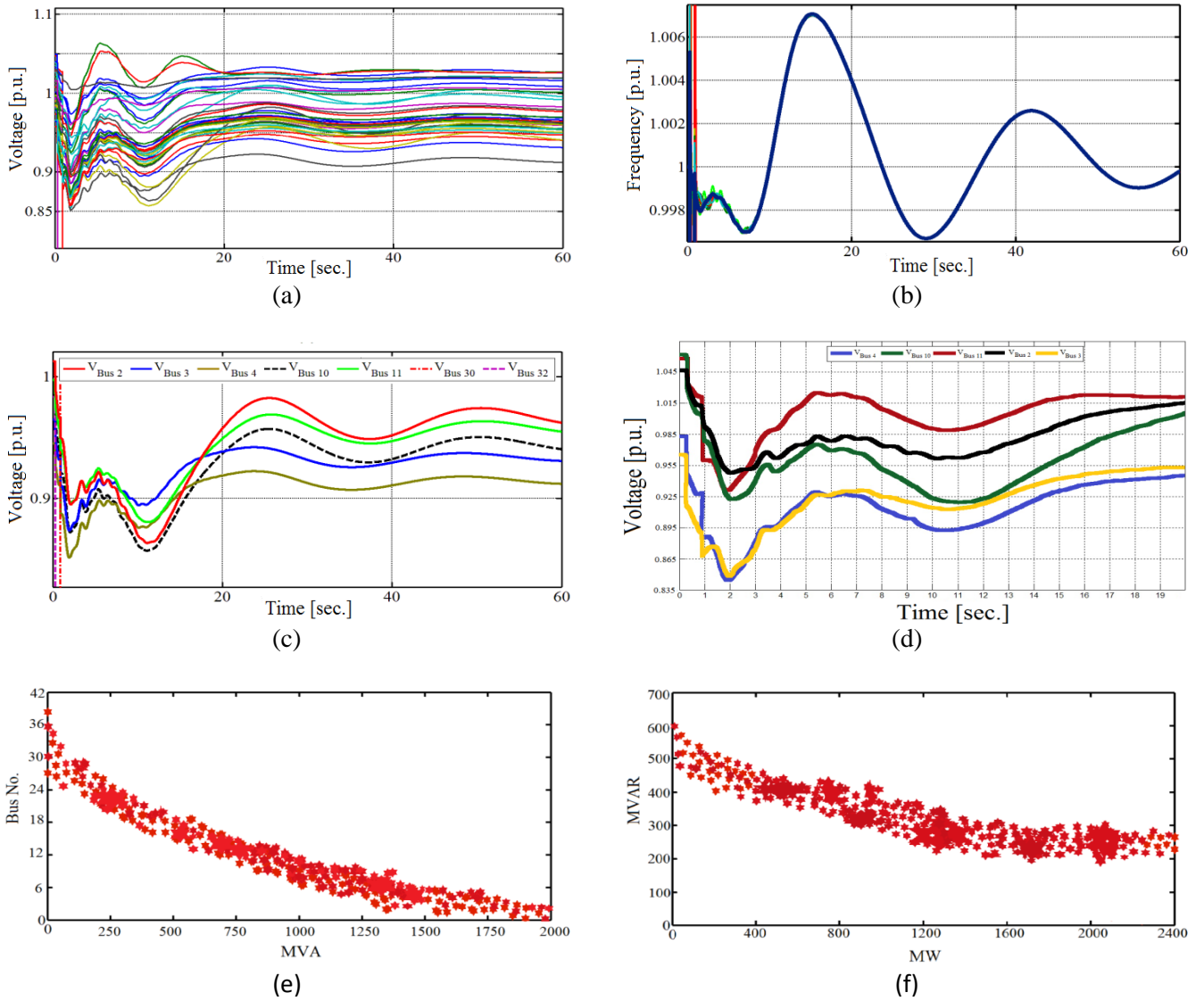


**Fig. 8.** System stability after the second scenario employing M1 method, (a) Voltage stability of all buses (b) Frequency stability, (c) Voltage stability of the critical buses, (d) Details of voltage stability of the critical buses

### B-3. Test system stability after M2 method activation

The test system voltage magnitude decreases approximately 0.15 pu subsequent to G3 outage. Controlling devices make an abortive attempt to satisfy this decrement in voltage magnitude. Considering this amount of voltage drop does not trigger M2 method of load shedding, the voltage magnitude still declines due to the mechanical constraints of controlling devices insomuch that the voltage passes downwards 0.9 pu at  $t=0.65$  s as represented in Fig. (9-a). At this time, M2 method is triggered and commences to raise the voltage magnitude. The test system voltage declines following G10 outage at  $t=0.9$  s once more and results in the trigger of the second stage of M2 method. Owing to the short interval between G3 outage and G10 outage, the first estimation of load shedding made by M2 method is not so accurate. Therefore, there is a further voltage drop at  $t=1.2$  s. In other words, trigger of the second stage of M2 method is based upon the first steady state information of the test system; and while the first stage of load shedding is taking place. Consequently, the second stage of load shedding is started in a transient situation. This causes an inaccurate estimation in the second stage of load shedding of M2 method. Hence the weakest load buses to start load shedding from and/or the amount of active or reactive power to be shed from the predefined load buses are not selected exactly. Seen from

Figs. (9-a) and (9-c), the second load shedding estimation of M2 method requires approximately 5 seconds in order to effectuate a slight increment in the voltage magnitude. Since there is a time interface between the first and the second stages of M2 method load shedding, the test system experience a voltage drop at  $t=7s$  once more. This results in a third stage of load shedding. The third stage of load shedding constrains the voltage drop after 4 seconds. Therefore, M2 method directs the system voltage to the predefined permissible limit after a three-stage load shedding at  $t=15.6 s$ . According to the changes of the test system frequency indicated in Fig. (9-b) it could be found out the frequency is restricted to its stability range after the disturbance owing to M2 method. Thus the test system frequency is never affected by a serious oscillation. M2 method approach to control the voltage limit for the critical buses mentioned in Fig. (7-c) under the second scenario is observed in Fig. (9-c). Fig. (9-e) indicates the total Pareto Fronts employed to designate the weakest load buses as the load shedding should be started at, while Fig. (9-f) represents the set of Pareto Fronts for shedding of active and reactive powers from the selected load buses, after M2 activation following the second scenario. A summary of the test results is presented in Table III to compare the approaches of M1 and M2 methods to the mentioned scenarios.



**Fig. 9.** System stability after the second scenario employing M2 method and the total Pareto fronts after the second scenario utilizing M2 method, (a) Voltage stability of all buses, (b) Frequency stability, (c) Voltage stability of the critical buses, (d) Details of voltage stability of the critical buses, (e) Selecting of the weakest load buses to start load shedding, (f) Estimation of active and reactive powers to be shed from the selected load buses.

**Table III.** Summary of system stability results after two scenarios employing m1 and m2 methods.

Measured parameter	Scenario No. 1		Scenario No. 2	
	M1 method	M2 method	M1 method	M2 method
Active power after L.S. (MW)	6222.85	6246.65	5043.87	5104.67
Reactive power after L.S. (MVar)	1308.08	1344.65	1048.89	1146.05
First stability time of voltage (s)	0.925	0.3	21	15.6
First stability time of frequency (s)	0.3	0.33	23.3	0.971
Min. voltage magnitude (pu)	0.896	0.913	0.816	0.852
Max. voltage magnitude (pu)	1.063	1.093	1.070	1.063
Min. frequency magnitude (pu)	0.9938	0.9932	0.9907	0.9967
Max. frequency magnitude (pu)	1.0039	1.0056	1.0143	1.0071

## 7. CONCLUSION

To overcome the disadvantages of the existing combinational load shedding methods, a load shedding scheme based on a new load shedding distribution method, using combined frequency and voltage stability assessment, is employed in this work. The GA is utilized throughout the proposed load shedding process to select the most critical load buses. Thus the number of participating load buses in the total power imbalance distribution decreases considerably. As an innovation of this paper, reactive power is employed directly into the reactive power load shedding distribution together with active power load shedding distribution, to address the voltage stability issue immediately and more efficiently in the load shedding process. The test results confirm the capability of M2 method rather than M1 method coming across difficult scenarios. They also corroborate that the improvements in load shedding distribution technique can enhance the steady state of power systems in terms of both frequency and voltage stability with a good transient comportment, when a power system encounters acute disturbances. Thus, there is a novel alternative to protect the system safely and efficiently for the load shedding in practical applications.

## REFERENCES

- [1] I. Kaffashan, T. Amraee, "Probabilistic undervoltage load shedding using point estimate method", *IET Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 9, No. 15, pp. 2234-2244, Nov. 2015.
- [2] A.C. Adewole, R. Tzoneva, A. Apostolov, "Adaptive under-voltage load shedding scheme for large interconnected smart grids based on wide area synchrophasor measurements", *IET Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 10, No. 8, pp. 1957-1968, May 2016.
- [3] G. Shahgholian, M. Ebrahimi-Salary, "Effect of load shedding strategy on interconnected power systems stability when a blackout occurs", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 212-216, April 2012.
- [4] A. Mahari, H. Seyedi, "A wide area synchrophasor-based load shedding scheme to prevent voltage collapse", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 78, pp. 248-257, June 2016.
- [5] A. Estebarsari, E. Pons, T. Huang, E. Bompard, "Techno-economic impacts of automatic under voltage load shedding under emergency", *Electric Power Systems Research*, Vol. 131, pp. 168-177, Feb. 2016.
- [6] A. Ahmadi, Y. Alinejad-Beromi, "A new integer-value modeling of optimal load shedding to prevent voltage instability", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 65, pp. 210-219, Feb. 2015.

- [7] U. Rudez, R. Mihalic, "Analysis of under frequency load shedding using a frequency gradient", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 26, No. 2, pp. 565-575, April 2011.
- [8] Y.Y. Hong, P. H. Chen, "Genetic-based under-frequency load shedding in a stand-alone power system considering fuzzy loads", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 27, N0. 1, pp. 87-95, Jan. 2012.
- [9] Y.Y. Hong, S. F. Wei, "Multi-objective under-frequency load shedding in an autonomous system using hierarchical genetic algorithms", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 25, No. 3, pp. 1355-1362, July 2010.
- [10] H. Alkhatib, J. Duveau, "Dynamic genetic algorithms for robust design of multimachine power system stabilizers", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 45, pp. 242–251, 2013.
- [11] W.P. Luan, M.R. Irving, J.S. Daniel, "Genetic algorithm for supply restoration and optimal load shedding in power system distribution networks", *IET Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 149, No. 2, pp. 145-151, March 2002.
- [12] M. Haomin, K. Wing Chan, L. Mingbo, "An intelligent control scheme to support voltage of smart power systems", *IEEE Trans. on Power Industrial Informatics*, Vol. 9, No. 3, pp. 1404–1414, Aug. 2013.
- [13] F. Daneshfar, H. Bevrani, "Load-frequency control: a GA-based multi-agent reinforcement learning", *IET Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 4, No. 1, pp.13-26, 2010.
- [14] A. Saffarian, M. Sanaye-Pasand, "Enhancement of power system stability using adaptive combination-al load shedding methods", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 26, No. 3, pp. 1010-1020, Aug 2011.
- [15] A.P. Ghaleh, M. Sanaye-Pasand, A. Saffarian, "Power system stability enhancement using a new combinational load shedding algorithm", *IET Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 5, No. 5, pp. 551-560, May 2011.
- [16] J. Tang, J. Liu, F. Ponci, A. Monti, "Adaptive load shedding based on combined frequency and voltage stability assessment using synchrophasor measurements", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 28, No. 2, pp. 2035-2047, May2013.
- [17] P.M. Joshi, "Load shedding algorithm using voltage and frequency data", Clemson University, Dec. 2007.
- [18] W. Qin, P. Wang, X. Han, X. Du, "Reactive power aspects in reliability assessment of power systems", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 26, No. 1, pp. 85-92, Feb. 2011.
- [19] R. Zarate, "Optimal power flow with stability constrains", PhD Thesis at Department of Electrical Engineering, Ciudad Real, July 2010.
- [20] P.M. Anderson, M. Mirheydar, "A low-order system frequency response model", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 5, No. 3, pp. 720-729, August 1990.
- [21] D.L.H. Aik, "A general-order system frequency response model incorporating load shedding: analytic modeling and applications", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 21, No. 2, pp. 709-717, May 2006.
- [22] IEE Std., "IEEE guide for the application of protective relays used for abnormal frequency load shedding and restoration", IEEE Std., C37.117-2007, Aug. 2007.



## Design and Implementation of 1-bit Comparator in Quantum-dot Cellular Automata (QCA)

Ali Newaz BAHAR<sup>1\*</sup>, Krishna ROY<sup>1</sup>, Md. ASADUZZAMAN<sup>1</sup>,

Mohammad Maksudur Rahman BHUIYAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Information & Communication Technology, Mawlana Bhashani Science and Technology University, Tangail, Bangladesh.

<sup>2</sup>University Grants Commission of Bangladesh, Dhaka, Bangladesh.

Received: 12.12.2016; Accepted: 01.09.2017

**Abstract.** For immense demand of speedy high-end gadgets, chips are becoming denser, but Moore's law is falling flat lately. Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) technology is on its brink. Quantum-dot cellular automata (QCA) has become a potential alternative technology to provide faster speed with low power dissipation at nano-scale extent. Here, we proposed an efficient QCA design of 1-bit comparator. The proposed comparator required 59% less area and dissipated 82% less energy. QCA Designer has been used to design and simulate the proposed comparator. Finally, QCAPro tool has been employed for estimating energy dissipation.

**Keywords:** Comparator, Energy dissipation, QCA Designer, QCAPro

## Kuantum Noktalı Hücresel Otomasyonlarda 1 Bitlik Karşılaştırıcı Tasarımı ve Uygulanması

**Özet.** Hızlı üst düzey cihazların büyük talepleri için çipler yoğunlaşmakta ancak Moore yasası son zamanlarda düşmektedir. Tamamlayıcı Metal-Oksit-Yarı iletken (CMOS) teknolojisi eşiğe ulaşmıştır. Kuantum noktalı hücresel otomasyon (QCA), nano ölçekte düşük güç dağılımıyla daha hızlı bir hız sağlamak için potansiyel bir alternatif teknoloji haline gelmiştir. Bu çalışmada, 1 bitlik karşılaştırıcının verimli bir QCA tasarımı önerdik. Önerilen karşılaştırıcı, % 59 daha az alan gerektirir ve % 82 daha az enerji tüketir. QCA Tasarımcısı, önerilen karşılaştırıcıyı tasarlamak ve simule etmek için kullanılmıştır. Son olarak, enerji yayılımını tahmin etmek için QCAPro aracı kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karşılaştırıcı, Enerji Dağılımı, QCA Tasarımcısı, QCAPro

### 1. INTRODUCTION

Reducing power dissipation and area density of circuits are the most concerning issue at present computing paradigm. The traditional CMOS technology faced many limitations such as high level scaling, high power consumption, heat generation and high lithography cost [1]. To overcome such limitations, a number of extensive researches have been taken place to find the alternatives [1-4]. One of the possible alternatives Quantum-dot cellular automata (QCA), was proposed by Lent et al [2]. This technology ensures low energy dissipation with higher speed as well as parallel computing capability at nano-scale level [3-5]. A number of studies reported that QCA is suitable for designing different types of logical [6-14] as well as computational [15-19] devices.

\* Corresponding author. Email address: bahar@ieee.org

Its basic building block is a cell composed of four dots, operates by changing the position of two electrons. There's two possible arrangement of a cell as two electrons positioned diagonally for columbic repulsion force. Basic logic gates can be designed by arranging these cells in different ways. And one of the most basic building blocks in QCA is majority voter gate (MV) [2-6].

A reversible 1-bit QCA comparator was proposed in [20]. This Feynman gate based comparator required 319 cells and dissipated 762.8 (meV) energy at  $\gamma=1.0 E_k$ . Another QCA comparator design has been proposed in [21]. This irreversible comparator required 117 cells to design and occupied  $0.182\mu\text{m}^2$  area. More efficient and coplanar comparator has been presented in [22]. In this paper, an exclusive-OR gate based optimized 1-bit comparator has been introduced. The QCA implementation of the proposed design used only 42 cells. This layout entails the lowest number of cells and less area as compared to the previous works [20-22].

**2. PROPOSED DESIGN**

Comparator is a combinational digital circuit that determines whether the two numbers are equal, greater or less than each other. If the inputs are A and B, and outputs are Output  $_{(A<B)}$ , Output  $_{(A=B)}$  and Output  $_{(A>B)}$  then the logical expressions of 1-bit comparator are given as:

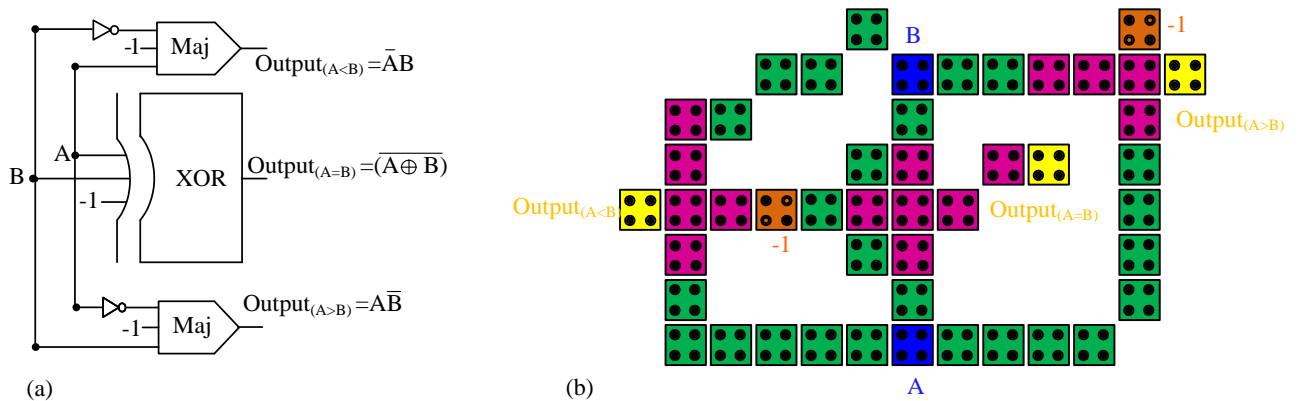
$$\begin{aligned} \text{Output}_{(A<B)} &= \bar{A} \cdot B \\ \text{Output}_{(A=B)} &= \overline{A \oplus B} \\ \text{Output}_{(A>B)} &= A \cdot \bar{B} \end{aligned}$$

The majority gate based representation of the above equations is given by

$$\begin{aligned} \text{Output}_{(A<B)} &= MV(\bar{A}, B, -1) \\ \text{Output}_{(A=B)} &= \overline{XMV(A \oplus B)} \\ \text{Output}_{(A>B)} &= MV(A, \bar{B}, -1) \end{aligned}$$

Here, MV represents the three input majority gate, -1 represents logical “AND” operation and XMV is the three input exclusive-OR gate.

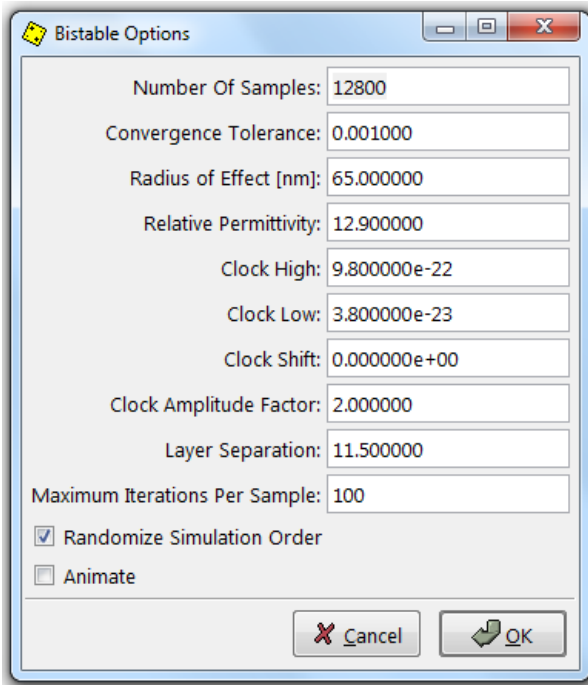
The proposed comparator is designed using three inverter gates, two majority gates and one exclusive-OR gate. The schematic block diagram and circuit layout of the proposed comparator in QCA are shown in Fig. 1 (a) and Fig. 1 (b) respectively.



**Fig. 1.** (a) Schematic block diagram (b) circuit layout of proposed comparator in QCA

### 3. RESULT and ANALYSIS

The proposed 1-bit comparator is simulated and demonstrated by QCADesigner [24], a common QCA layout designing and simulation tools. The following default evaluation factors are considered for a Bistable Approximation [24] shown in Fig. 2.



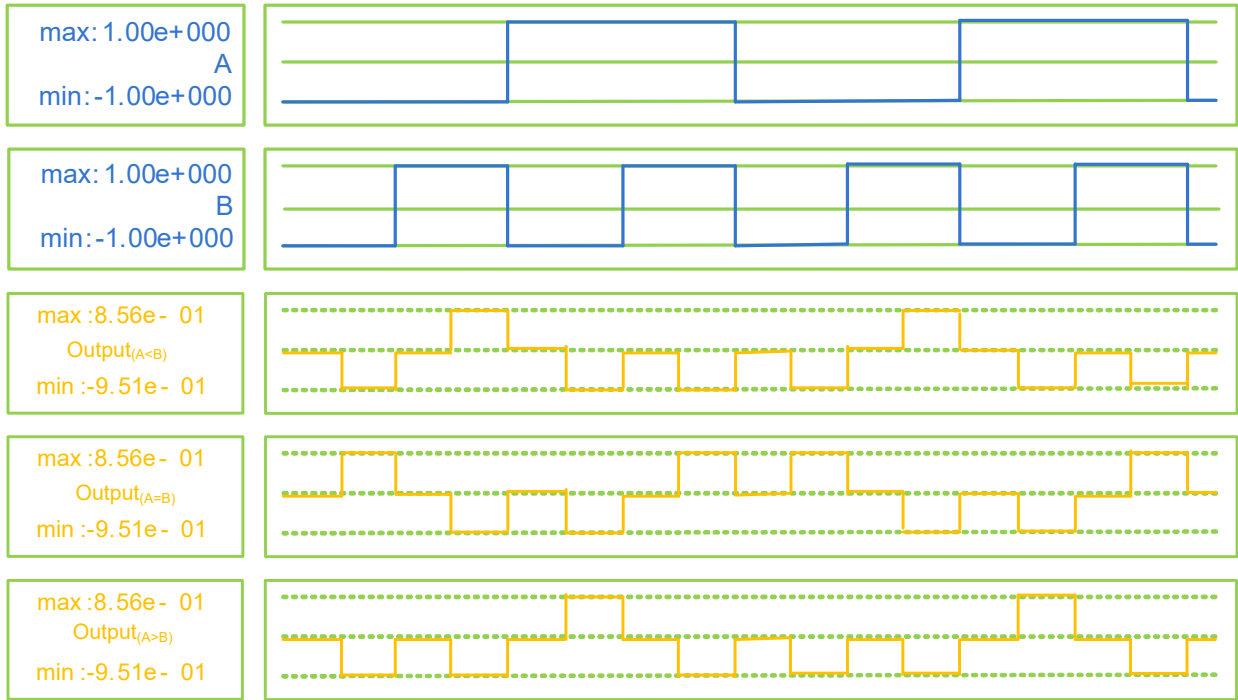
**Table 1.** Truth Table of 1-bit comparator.

Input		Output		
A	B	Output <sub>(A&lt;B)</sub>	Output <sub>(A=B)</sub>	Output <sub>(A&gt;B)</sub>
0	0	0	1	0
0	1	1	0	0
1	0	0	0	1
1	1	0	1	0

**Fig. 2.** Default parameters of Bistable approximation.

The input-output waveforms for the proposed 1-bit comparator are shown in Fig. 3. The simulation outcome is justified with theoretical values described in Table1. For the input  $A=0$  and  $B=0$ , the output will be  $Output_{(A<B)}=0$ ,  $Output_{(A=B)}=1$  and  $Output_{(A>B)}=0$  as reflected in Fig. 3. Similarly, for input  $A=0$  and  $B=1$ , the output will be  $Output_{(A<B)}=1$ ,  $Output_{(A>B)}=0$  and  $Output_{(A=B)}=0$ .





**Fig 3.** Simulated input-output waveform of proposed 1-bit comparator

As exposed in Table 2, the proposed comparator yields considerable improvements in terms number of cell count, occupied area and time delay. The proposed comparator has around 50% improvement in the cell count, around 59% improvement in covered area, and 60% improvement in time delay compared with the best previous design presented in [23].

**Table 2.** Comparison of 1 bit comparators.

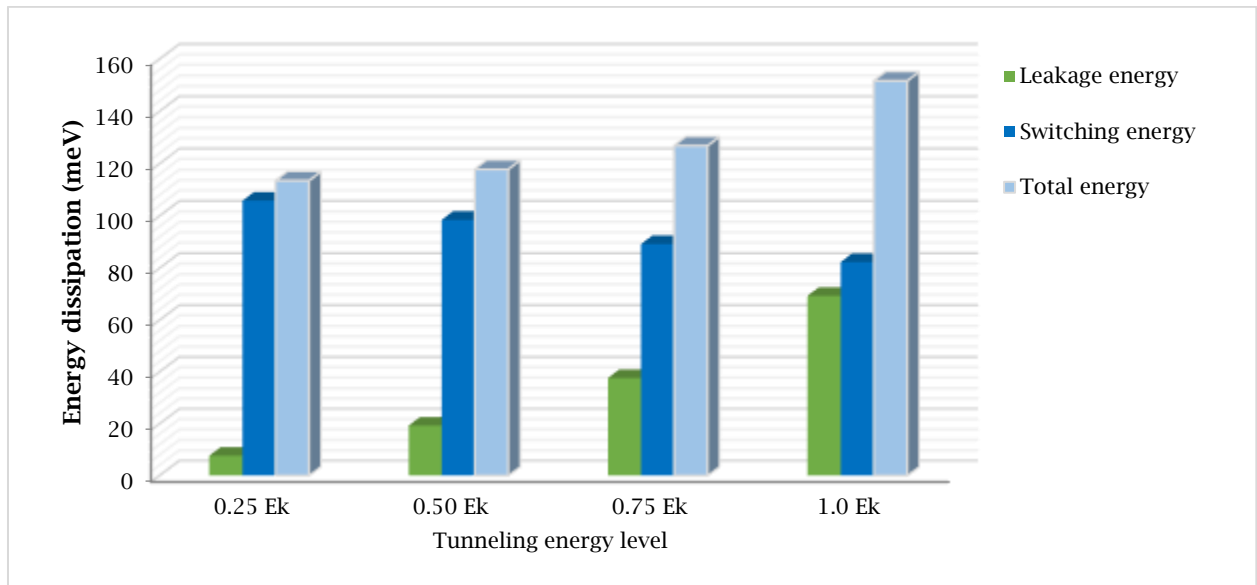
Comparator design	Majority + Inverter gate	Cell count	Approximated area ( $\mu\text{m}^2$ )	Time delay (Clock cycle)
Comparator [20]	32	319	0.343	4
Comparator [21]	15	117	0.182	1
Comparator [22]	8	100	0.127	1.25
Comparator [23]	10	95	0.103	1.25
Proposed Comparator	8	47	0.042	0.50

During operation, every QCA cell dissipates same amount of energy in one clock cycle. The energy dissipation by the complete QCA design is anticipated by the upper bound power dissipation model [25]. The energy dissipation of the proposed QCA circuits is estimated using QCAPro [26] tools at temperature  $T = 2.0 K$  in different tunneling energy [27] level shown in Fig. 4. In Table 3, a comparative energy dissipation study of proposed 1-bit comparator and earlier design [20] is given.

**Table 3.** Energy dissipation comparison of proposed 1-bit comparator with earlier design at different tunneling energy level at  $T=2K$

Circuit	Energy dissipation (meV)			
	$\gamma=0.25 E_k$	$\gamma=0.50 E_k$	$\gamma=0.750 E_k$	$\gamma=1.0 E_k$
Comparator [17]	629.9	660.5	707.9	762.8
Proposed comparator	113.45	117.81	126.87	151.56





**Fig. 4.** Energy dissipation graph of proposed 1-bit comparator at different tunneling energy level at  $T=2K$

#### 4. CONCLUSION

An optimized design of 1-bit comparator is presented here. The proposed layout is simulated and verified using the QCADesigner tool and the simulation outcome illustrate that the logical function of proposed comparator is correct. This optimized design achieved a significant improvement in terms of energy dissipation, time delay, area and cell count. However, the proposed comparator dissipates 80% less energy at  $1.0E_k$  tunneling energy level at  $T=2K$ . Moreover, in comparison with the best earlier reported comparator design, our proposed comparator has 50% and 59% enhancement in the cell count and occupied area, respectively. Finally, this design can be employed in several calculative applications, which may be performing as a vital unit of a general purpose nano processor.

#### REFERENCES

- [1] A. Sarker, A.N. Bahar, P.K. Biswas, M. Morshed, A novel presentation of peres gate (PG) in quantum-dot cellular automata (QCA), European Scientific Journal. 10 (2014) 101–106.
- [2] C.S. Lent, P.D. Tougaw, W. Porod, G.H. Bernstein, Quantum cellular automata, Nanotechnology. 4 (1993) 49. doi:10.1088/0957-4484/4/1/004.
- [3] P.D. Tougaw, C.S. Lent, Logical devices implemented using quantum cellular automata, Journal of Applied Physics. 75 (1994) 1818–1825. doi:10.1063/1.356375.
- [4] C.S. Lent, P.D. Tougaw, A device architecture for computing with quantum dots, Proceedings of the IEEE. 85 (1997) 541–557. doi:10.1109/5.573740.
- [5] A. N. Bahar, M. A. Habib, N. K. Biswas, A Novel Presentation of Toffoli Gate in Quantum-dot Cellular Automata (QCA), International Journal of Computer Applications. 82 (2013) 1–4. doi:10.5120/14149-2243.
- [6] A.N. Bahar, S. Waheed, M.A. Habib, A novel presentation of reversible logic gate in Quantum-dot Cellular Automata (QCA), in: 2014 International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), 2014: pp. 1–6. doi:10.1109/ICEEICT.2014.6919121.

- [7] S.S. Islam, S. Farzana, A.N. Bahar, Area efficient layout design of Multiply Complements Logic (MCL) gate using QCA Technology, *Global Journal of Research in Engineering*. 14 (2014).
- [8] A.N. Bahar, S. Waheed, M.A. Uddin, M.A. Habib, Double Feynman Gate (F2G) in Quantum-dot Cellular Automata (QCA), *International Journal of Computer Science Engineering*. 2 (n.d.) 351–355.
- [9] Rahman, M.A. Habib, A.N. Bahar, Z. Rahman, Anisur, Novel Design of BCD to Excess-3 Code Converter in Quantum Dots Cellular Automata(QCA), *Global Journal of Research In Engineering*. 14 (2014).
- [10] A.N. Bahar, S. Waheed, M.A. Habib, An Efficient Layout Design of Fredkin Gate in Quantum-dot Cellular Automata (QCA), *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 3 (2015) 219–225.
- [11] M. Abdullah-Al-Shafi, M.S. Islam, A.N. Bahar, A Review on Reversible Logic Gates and its QCA Implementation, *International Journal of Computer Applications*. 128 (2015) 27–34. doi:10.5120/ijca2015906434.
- [12] A.N. Bahar, S. Waheed, N. Hossain, A new approach of presenting reversible logic gate in nanoscale, *SpringerPlus*. 4 (2015). doi:10.1186/s40064-015-0928-4.
- [13] A.A. Shafi, A.N. Bahar, M.S. Islam, A Quantitative Approach of Reversible Logic Gates in QCA, *Journal of Communications Technology, Electronics and Computer Science*. 3 (2015) 22–26.
- [14] M.S. Islam, M. Abdullah-Al-Shafi, A.N. Bahar, A New Approach of Presenting Universal Reversible Gate in Nanoscale, *International Journal of Computer Applications*. 134 (2016) 1–4.
- [15] X. Yang, L. Cai, X. Zhao, N. Zhang, Design and simulation of sequential circuits in quantum-dot cellular automata: Falling edge-triggered flip-flop and counter study, *Microelectronics Journal*. 41 (2010) 56–63. doi:10.1016/j.mejo.2009.12.008.
- [16] M.S. Islam, M.A.-A. Shafi, A.N. Bahar, Implementation of Binary to Gray Code Converters in Quantum Dot Cellular Automata, *Journal of Today's Ideas – Tomorrow's Technologies*. 3 (2015) 145–160. doi:10.15415/jotitt.2015.32010.
- [17] H. Cho, E.E. Swartzlander, Adder Designs and Analyses for Quantum-Dot Cellular Automata, *IEEE Transactions on Nanotechnology*. 6 (2007) 374–383. doi:10.1109/TNANO.2007.894839.
- [18] A.N. Bahar, S. Waheed, Design and implementation of an efficient single layer five input majority voter gate in quantum-dot cellular automata, *SpringerPlus*. 5 (2016). doi:10.1186/s40064-016-2220-7.
- [19] A. Al-Shafi, A.N. Bahar, Novel Binary to Gray Code Converters in QCA with Power Dissipation Analysis, *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. 11 (2016) 379–396. doi:10.14257/ijmue.2016.11.8.38.
- [20] J.C. Das, D. De, Reversible Comparator Design Using Quantum Dot-Cellular Automata, *IETE Journal of Research*. (2015) DOI:10.1080/03772063.2015.1088407
- [21] M. Abdullah-Al-Shafi, A.N. Bahar, Optimized design and performance analysis of novel comparator and full adder in nanoscale, *Cogent Engineering*. 3 (2016). doi:10.1080/23311916.2016.1237864.
- [22] Y.-S. Xia, K.-M. Qiu, Comparator Design Based on Quantum-Dot Cellular Automata, *Journal of Electronics & Information Technology*. 31 (2009) 1517–1520.
- [23] Y.-S. Xia, K.-M. Qiu, Comparator Design Based on Quantum-Dot Cellular Automata, *Journal of Electronics & Information Technology*. 31 (2009) 1517–1520.
- [24] K. Walus, T.J. Dysart, G.A. Jullien, R.A. Budiman, QCADesigner: a rapid design and Simulation tool for quantum-dot cellular automata, *IEEE Transactions on Nanotechnology*. 3 (2004) 26–31. doi:10.1109/TNANO.2003.820815.

## Design and Implementation

- [25] S. Srivastava, S. Sarkar, S. Bhanja, Estimation of Upper Bound of Power Dissipation in QCA Circuits, *IEEE Transactions on Nanotechnology.* 8 (2009) 116–127. doi:10.1109/TNANO.2008.2005408.
- [26] S. Srivastava, A. Asthana, S. Bhanja, S. Sarkar, QCAPro - An error-power estimation tool for QCA circuit design, in: 2011 IEEE International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS), 2011: pp. 2377–2380. doi:10.1109/ISCAS.2011.5938081.
- [27] A.N. Bahar, M.M. Rahman, N.M. Nahid, M.K. Hassan, Energy dissipation dataset for reversible logic gates in quantum dot-cellular automata, *Data in Brief.* 10 (2017) 557–560. doi:10.1016/j.dib.2016.12.050.



## Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

İsmail DEMİR<sup>1\*</sup>, M. Serhat BAŞPINAR<sup>2</sup>, Erhan KAHRAMAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Afyonkarahisar, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Afyonkarahisar, TÜRKİYE

Received: 30.09.2016; Accepted: 30.01.2017

**Özet.** Köpük beton harcı akış özellikleri geleneksel harçtan farklıdır. Akma dayanımı çok düşük olduğu için kendiliğinden akış özelliği gösterir. Köpük betonun akış özelliklerini belirleyen bir çok faktör vardır. Temel olarak; su/çimento oranı, su/ince malzeme oranı, çimento tipi, köpük ajanının tipi, köpük yoğunluğu, filler malzeme tipi ve miktarı, taze harcın yoğunluğu vb. Bu nedenle nihai beton ve köpük betonun reolojik özellikleri arasında bir yakınlık görülebilir. Köpük betonun bilinen reolojik özellikleri harcın işlenebilirliği, pompalanabilirliği ve kararsızlığı hakkında bilgiler verir. Köpük betonun reolojik özelliklerinin belirlenmesinde en önemli iki faktör olan fiziksel ve mekaniksel özellikler iki farklı yöntemle incelenmiştir. Bu akış özellikleri Marsh konisi yöntemi ve Brookfield viskozimetresi ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Köpük beton, Reoloji, İşlenebilirlik, Viskozite, Marsh konisi

## Experimental Investigation of Foam Concrete Rheological Properties

**Abstract.** The flow properties of foam concrete mortar are different from the traditional mortar. It shows self flow properties for yield strength is very low. There are many factors that determine the flow properties of foam concrete. Basically they said; water/cement ratio, water /powder ratio, type of cement, the type of foaming agent, the foam density, the type filler material and amount of, the density of the fresh mortar, etc. Therefore can be established a close relationship between the rheological properties of foam concrete and the final concrete properties. To be known the rheological properties of foam concrete offers important information about the workability of mortar, pumpability and instability. Rheological properties of foam concrete have been investigated in two different methods as the most important factors that determine the physical and mechanical properties. This was investigated by flow properties Marsh cone method and Brookfield viscometer.

**Keywords:** Foam concrete, Rheology, Workability, Viscosity, Marsh Cone

## GİRİŞ

Köpük betonun taze haldeki durumu geçici olmakla birlikte, sertleşmiş beton özelliklerine olan etkisi büyük önem taşır [1]. Reolojik çalışmalarda uçucu kül filler malzeme olarak kullanıldığında, kum kullanılan örneklere göre çok daha fazla yayılma göstermiştir. Kıvam ve reolojik özellikler agreganın tane şekli ve tane boyutu dağılımı ile yakından ilgilidir. Uçucu kül kütlece kum ile yer değiştirdiğinde ince tane oranı artacağından akışkanlıkta azalma gerçekleşecektir. Bu durumda istenen kıvamı elde etmek amacı ile su/toz oranının artırılması gerekir [2]. Karışımdaki köpük miktarının artması akışkanlığı azaltmaktadır. Bunun nedeni: 1) Hava hacminin artması ile birlikte yoğunluğun azalması sonucu kohezyonun artışı neden olur [3]. 2) Harçtaki kabarcıklar ve katı taneler arasındaki adezyon kuvvetleri harcın kıvamını artırır. Görece katı kıvamda bir köpük beton karışımında, hava kabarcıklarının sönümlenmesine yol açarken, yüksek kıvamlı (aşırı akışkan) bir karışımda ise bünyesindeki hava kabarcıklarını tutma yeteneğini kaybederek ayırmaya neden olabilir. Bu nedenle karalılığı sağlamak için yoğunluk oranları (örneğin, taze beton yoğunluğu ve sertleşmiş beton yoğunluğu oranları) 1:1 yakın

\* Corresponding author. Email address: idemir@aku.edu.tr

## Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin

olmalıdır [4]. Bu çalışmada dolgu olarak farklı mineral malzemeler kullanılarak üretilen köpük beton örneklerin reolojik özellikleri Marsh Konisi ve Brookfield Viskozimetresi kullanılarak incelenmiştir.

### MARSH KONİSİ YÖNTEM İLE AKIŞKANLIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Taze haldeki köpük beton harcında dikkate alınacak ilk iki özellik kıvam ve reolojidir. Bu değerler genellikle bir akış konisi ile ölçülerek karışımın performansı incelenir [5]. Köpük betonların akışkanlığını belirlemede Marsh Konisi pratik bir yöntem olarak (Şekil 1) kullanılır [6]. Bu yöntem temel olarak 1,5 litrelik döküme hazır harcın basit bir huniden 1 litrelik harç kısmının akma süresinin ölçülerek not edilmesi prensibine dayanır. Akış süresinin ölçülmesinin yanında akma davranışı da görsel olarak belirlenerek not edilir. Buna göre 1 litrelik taze harcın 1 dakikanın altında akması durumu sabit ve düzenli akış olarak değerlendirilir (Tab. 1, [7]). Akış süreleri 1 dakikayı geçen harçlar ise engelli veya zor akış olarak not edilir. Harç akmıyorsa “akmadı” olarak not edilir [8].



Şekil 1. Akış (Marsh) konisi

Tablo 1. Köpük betonun akış süresine göre sınıflandırılması [7].

Ana sınıf	Tanımlama	Alt sınıf	Açıklama
1	1 litre < 1 d	A*	Sabit/düzenli akış
2	1 d < akış < 2 d	B*	Kesikli akış
3	0.5 litre < akış < 1 litre	C	Hafifçe sıkıştırma ile akış tamamlanması
4	Akış < 0,5 Litre	-	Yalnızca 1. ve 2. Sınıflar kullanılabilir.
5	Akış yok	-	

Tasarım yoğunluğunu ulaşmak için su katı oranı olarak tanımlanabilen baz karışımın kıvamı, ilave edilen köpüğe bağlı olarak, karışımın kararlılığını (stabilite) etkileyen en önemli faktördür. Bu nedenle kıvam ağırlıklı olarak filler tipine bağlıdır. Köpük ilavesi ile birlikte baz karışımın kıvamı dikkate değer biçimde azalır. Köpük betonun kıvamındaki bu azalma muhtemelen kendi ağırlığının azalması ve yüksek hava içeriğinden kaynaklanan güçlü kohezyon nedeniyledir.

İstenen kıvamda bir karışım elde etmek için; i) Uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak köpük hacmindeki bir artış su/katı oranını artırmaktadır. ii) Herhangi bir köpük hacminde (köpük sabit iken) uçucu kül miktarındaki bir artış, su/katı oranını artırmaktadır. iii) Belli bir su/katı oranında artan uçucu kül miktarına bağlı olarak gereken köpük miktarı azalır. Kum kütlece uçucu kül ile yer değiştirdiğinde ince madde miktarındaki artış nedeniyle karışımın kıvamı düşer. Bu nedenle uçucu kül ikame oranının artması, su/katı oranında bir artış gerektirir.

Kıvam değerleri düşük olduğunda (karışım çok katı kıvamda ise kabarcıklar bozulur) veya çok yüksek olduğunda (kabarcıkları tutmak için harç çok zayıf kalır ve ayrılmaya yol açar) yoğunluk değerlerinde artış gerçekleşir. Kararlılık baz karışımın kıvamına bağlıdır ve bu su/katı oranı olarak ifade edilebilir. Baz karışıma köpük katıldığında “köpük betonun kıvamı” düşer. Her ne kadar süper akışkanlaştırıcılar köpüğün kararlılığını azaltsa da uygun işlenebilirliği sağlayabilmektedir [9,10]. Günümüzde yapı kimyasallarının karmaşıklığı nedeniyle köpük ile etkileşimleri genellenemez [11].

Taze haldeki köpük betonun özellikleri köpük hacmi ve su/katı madde oranı ile birlikte karışıma giren diğer katı maddeleri tarafından belirlenmektedir. Buna göre köpük betonun yaş veya plastik haldeki özelliklerini etkileyen filler/çimento oranı, uçucu kül ikame miktarı, su/katı oranı ve köpük hacmi dikkate alınmalıdır. Bunlar baz karışımın kararlı yapıda ve uygun kıvamda bir köpük beton üretimi için gerekli su miktarının ve diğer bileşenlerin oranlarını belirlemeye yardım edecektir.

Tasarım karışımı oluşturan bileşenler, kıvam ve reolojii etkileyen başlıca faktörlerdir. Taze harcın kıvam ve reolojisini etkileyen en önemli faktör karışımın su içeriğidir. Fazladan ilave edilen su işlenebilirliği etkileyerek taze harçta ayrılmaya yol açacağı için, su/çimento oranının minimum tutulması tavsiye edilir [12].

Köpük betonun su ihtiyacı karışımı oluşturan bileşenlere ve kullanılan katkılara bağlıdır. Su miktarı aynı zamanda istenen karışımın üniform yapısını, kıvam ve kararlılığını belirler [13,14]. Düşük su içeriği karışımın çok katı olmasına ve karıştırma sırasında kabarcıkların sönmelenmesine yol açarak yoğunluk artışına neden olur [15], a). Benzer biçimde su içeriğinin yüksek olması ise, harcın kabarcıkları korumak için çok zayıf kalarak köpüğün karışımdan ayrılmasına yol açarak nihai yoğunluğu artırmaktadır [15], b). Diğer bir anlatımla her iki durumda da çökme meydana gelmektedir. Genel olarak su/çimento oranı 0,4 ile 1,25 arasında veya hedef yoğunluğun %6,5 ile %14’ü arasında önerilmektedir [16]. Su/çimento oranı artırıldığında kum miktarı da buna bağlı olarak artırılmalıdır [17]. Bir ön hesaplama ile belirlenen su/çimento oranı yerine harcın kıvamı gözlenerek, karışıma uygun miktarda su ilave edilebilir. Ayrıca, başlangıçtaki hamurun yada harcın işlenebilirliğini ve hedeflenen taze köpük beton tasarımını sağlamak için su miktarı yeterli olmalıdır. Aksi halde çimento köpüğün suyunu absorbe ederek köpükte hızlıca bir bozulma oluşur [18-20].

Köpük betonun kıvamını ve reolojik özelliklerini geliştirmek, KYB özelliği kazandırmak, köpük ve bağlayıcı arasındaki adezyon ve kohezyonu geliştirmek amacıyla karışımı oluşturan bileşenler doğru hesaplanmalıdır [14]. Yoğunluğu etkileyen diğer bir faktör iri agrega yoğunluğudur. Hafif yoğunlukta iri agrega ilavesi karışımın kıvamını olumsuz etkilemektedir. Bu sorunu çözmek için, karışıma uçucu kül ilave edilmesi önerilmektedir [21]. İri agrega çapı 4 mm’yi ve toplam agrega hacimdeki oranı %25’i geçmemelidir. Daha fazla miktardaki iri agrega köpüğün bozulmasına yola açabilmektedir [22,23,7]. Ayrıca S/Ç oranındaki bir artış ve köpük miktarındaki azalma plastik yoğunluğu oransal olarak artırırken kıvam ve reolojisini olumsuz etkilemektedir [15]. Yüksek miktarda köpük ilavesi hava miktarını artırarak taze betonun kıvamını azaltırken, süper akışkanlaştırıcı katkı ilavesi akış hızını artırmaktadır [24].

## Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin

Akışkanlaştırıcılar işlenebilirliği önemli ölçüde iyileştirmek ve köpük beton kıvamını korumak için kullanılır [25-27]. Su azaltıcı katkıları uygulamada taze betonun akışkanlığını ve plastikliğini kolaylaştırarak performansını artırmak için kullanılmakta olup, ayrışmaya neden olmazlar [28] Köpük beton üretiminde en popüler akışkanlaştırıcılar flor içerikli yüzey aktif (FS1) maddedir. FS1 genellikle karışım suyunun miktarını azaltıcı ve aynı zamanda hidrasyon sürecini hızlandırıcı etkiye sahiptir [29].

Çalışmada akışkanlık, su/bağlayıcı, su/katı oranlarının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan SA'nın özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltıcı, yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkıdır. Polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltan, erken ve nihai yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan hazır beton ve prekast endüstrisi için geliştirilmiştir. Klor içeriği %1 ve max. alkali içeriği %3'tür.

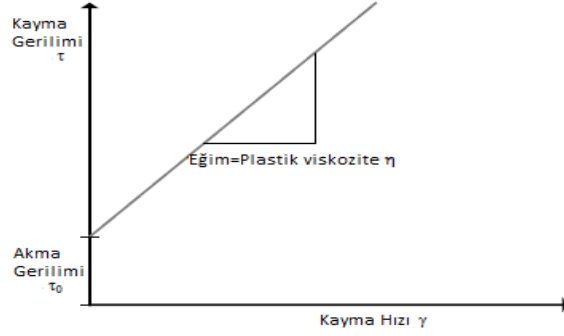
Yeni nesil süper akışkanlaştırıcıların kimyasal mekanizması çimento tanecik yüzeyleri, geleneksel melamin ve naftalin sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcı polimerlerde, beton karıştırma işleminin erken aşamasında kuşatılırlar. Polimer zincirlerinin sülfonik grupları, çimento tanecik yüzeylerinin negatif yükünü artırır ve elektrostatik kuvvet bu tanecikleri iter. Bu elektrostatik mekanizma, çimento hamurunun dağılmasına neden olur ve buna bağlı olarak, beton işlenebilirliğinin daha az su karışımı ile elde edilmesi sağlanır. Bununla beraber hidrasyon işlemi, çimento taneciklerinin suya temas etmesi ile birlikte başlar. Hızla büyüyen hidrasyon kristalleri, taneciklerin yüzey mekaniğini değiştirir, böylece bunların serbestçe dağılımını önler. Süperakışkanlaştırıcı uzun zincirli karboksilik eter polimerlerinden oluşur. Karıştırma işleminin başlangıcında, geleneksel süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi, elektrostatik itme mekanizmasını harekete geçirir. Bu işlemle, su ihtiyacı büyük ölçüde azalan akışkan bir beton elde edilir. Ancak polimer omurgasına bağlanan zincirler, çimento taneciklerinin dağılma ve yayılma yeteneğini büyük ölçüde stabilize ederek, sterik bir engel oluşturur. Bu sayede daha düşük su ile yüksek akışkanlık sağlanır.

### Brookfield Viskozimetresi Reolojik Model Çalışması

Malzemelerin akış ve deformasyon davranışı olarak tanımlanan Reoloji uygulanan gerilim, gerinim, gerinim hızı ve zaman ile ilgili ilişkileri kapsar. Çimento pastası, harç ve beton Non-Newtonian sıvı olarak kabul edilir. Bu durumda sıvının viskozitesi uygulanan deformasyon hızıyla değişmektedir. Çimento içeren sistemlerin reolojik davranışı genelde Bingham modeli ile ifade edilir ve iki önemli terimle tanımlanır; akma gerilimi  $t_0$  ve plastik viskozite:

$$t = t_0 + h g \quad (1)$$

Burada:  $t$  kayma gerilimini ( $N/m^2$ ) ifade etmektedir.  $g$  uygulanan kayma gerinim (deformasyon) hızını,  $t_0$  akma gerilimini ( $N/m^2$ ) ve  $h$  plastik viskozite ( $Ns/m^2$ ) değerini ifade etmektedir (Şekil 2). Akma gerilimi malzemenin akmaya başlaması için gerekli olan gerilim seviyesini ifade eder. Plastik viskozite değeri, akma gerilimi aşıldıktan sonra malzemenin ne kadar kolay akacağına bir göstergesidir. Düşük akma gerilimi demek malzemenin akmaya başlaması için çok daha düşük direnç var anlamına gelmektedir. Yüksek viskozite segregasyonları engeller ancak malzemenin zor akmasına neden olur.



Şekil 2. Bingham akış modeli  $t = t_0 + h g$ .

Çalışmada Brookfield Viskozimetresi kullanılmıştır (Şekil 3). Brookfield Viskozimetresi ile yapılan Reolojik ölçüm prosedürü;

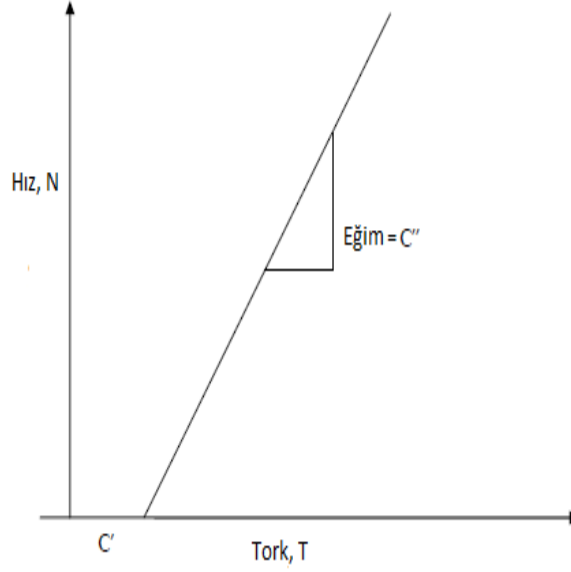
- (i) Cihaz önce 4 nolu disk için kalibrasyon sıvısı ile kalibre edilmiştir.
  - (ii) Her defasında taze hazırlanan harç karışımından alınan 1 litrelik karışım behere konmuştur.
  - (iii) Disk beher ortasında merkezlenerek daldırılmıştır.
  - (iv) 30 saniye arayla ölçüm ekranından maksimum tork değerleri (Çoğu zaman % doğruluk olarak belirtilen değer) ölçülmüştür. Her karışım ve her farklı dönüş hızı (deformasyon hızı) için 3 ölçüm alınmış ve ortalama değerleri not edilmiştir.
  - (v) Farklı deformasyon hızları için 5, 20 ve 50 rpm disk hızları seçilmiştir.
- Ölçüm ortalamaları ve hız değerleri grafiğe aktarılmıştır. X eksenini kayma gerilimi (tork değerleri) ve Y eksenini kayma değerleridir (dönme hızı). Noktalardan geçen doğrusal çizdirilerek, x eksenini kesen nokta akma gerilimi, doğrunun eğimi ise plastik viskozite olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4) [30].



Şekil 3. Çalışmada kullanılan Brookfield Viskozimetresi



## Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin



Şekil 4. Tork, T ve hız, N arasındaki Bingham ilişkisi [30].

Hazırlanan iki farklı köpük beton karışımı üzerinde reolojik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisinde tamamen mermer tozu (A) kullanılırken, diğesinde mermer tozu ve uçucu kül yarı yarıya olacak şekilde hazırlanmıştır. Harçların yoğunluk (litre ağırlıkları) değerleri 840 ve 870 kg/m<sup>3</sup> arasında hazırlanmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da Brookfield viskozimetresi ile yapılan reolojik deneylerden elde edilen tork-hız ilişkileri verilmiştir. Şekil 4'te belirtilen ilişkiler doğrultusunda;

$$T = C' + C''N \quad (2)$$

T = tork (Nm)

C'' = doğrunun eğiminin tersi plastik viskozitedir.

C' = x eksenini kestiği nokta akma gerilimidir.

Elde edilen doğruların denklemleri "y = mx + c" şeklinde yazıldığında, denklemler yardımıyla hazırlanan köpük betonlar harçlarının reolojik değerleri hesaplanabilmektedir.

Şekil 5'te y = 0,9884x - 9,593 olarak hesaplanmıştır.

m=eğim ise

Plastik viskozite= 1/tan α olacağından

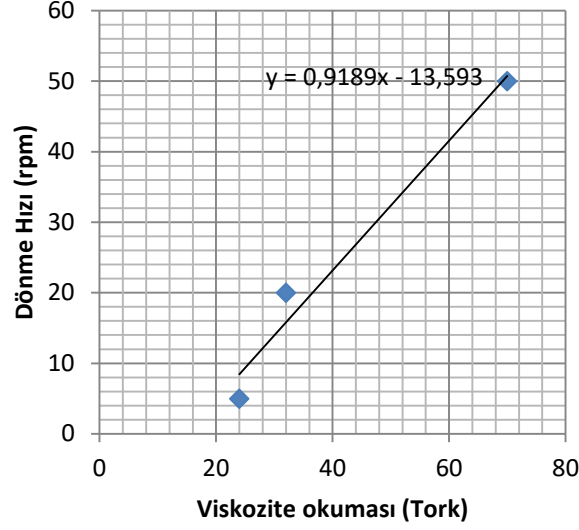
Plastik viskozite=1/0,9189;

**Plastik viskozite=1,088 Ns/m<sup>2</sup>**

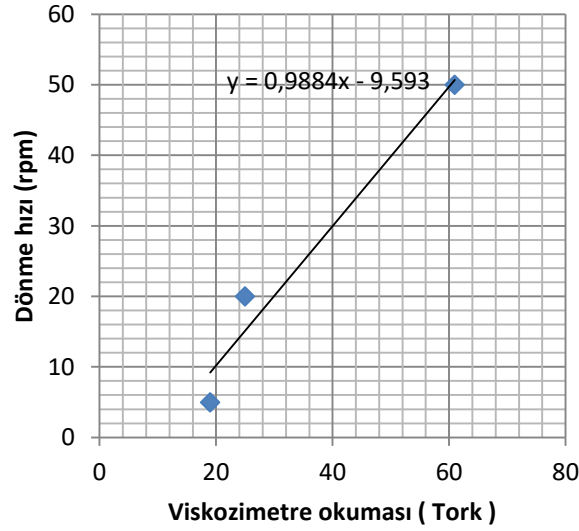
Akma gerilimi x eksenini kesen nokta olarak tanımlanırsa; y=0 verildiğinde

X= 13,593/0,9189= 14,79

**Akma gerilimi= 14,79 N/m<sup>2</sup>**



Şekil 5. Sadece mermer tozu içeren köpük beton tork-hız ilişkisi.



Şekil 6. %50 uçucu kül ihtiva eden kül-mermer tozu karışımından oluşan köpük beton tork-hız ilişkisi.

Benzer hesaplamalar Şekil 6'te verilen  $y = 0,9884x - 9,593$  denklemi için yapıldığında;

**Plastik viskozite**=  $1,012 \text{ Ns/m}^2$

**Akma gerilimi**=  $9,71 \text{ N/m}^2$  olarak hesaplanmıştır.

## Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin

Her iki karışımın değerleri karşılaştırıldığında, harç bünyesine uçucu kül girdiğinde harcın akma geriliminde önemli bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Bununla birlikte az da olsa plastik viskozite değerinde bir azalma hesaplanmıştır. Uçucu külün mermer tozuna göre daha küresel tane yapısına sahip olmasının akmayı kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

### BULGULAR

SA katkısı kullanılmayan serilerde belirli akışkanlığı sağlamak için gereken su miktarında artış gerçekleşmiştir. Ancak su miktarındaki artışa rağmen koni akış süreleri (AS) uzamış ve genel olarak 1 dakikadan fazla sürelerde akış (engelli akış) tamamlanmıştır. Diğer bir anlatımla karışımdaki su miktarının artmasına rağmen yeterli akışkanlık elde edilememiştir. SA katkısının %3,5 ve %5 olarak kullanıldığı serilerde akış süresi 33- 52 s arasında (düzenli akış) tamamlanmıştır. Bu aralıklarda SA kullanılan karışımlarda herhangi bir çökme sorunu gözlenmemiştir. SA katkısının %7,5 olarak kullanıldığı serilerin tamamında akış süresi 30 s'den önce tamamlanmıştır (aşırı akışkan). Bu serilerde aşırı akışkanlık kaynaklanan nedeniyle çökme ve/veya kısmi çökmeler gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- (i) Akışkanlaştırıcı katkı kullanılan serilerde, akışkanlaştırıcı kullanılmayanlara göre aynı karışım ve akışkanlık değerleri için daha az su gereksinimi belirlenmiştir.
- (ii) Sülfonat polimeri esaslı ve alkali oranı yüksek olan süper akışkanlaştırıcılara göre, polikarboksilik eter esaslı ve alkali oranı düşük süper akışkanlaştırıcılar ile aynı karışımlarda aynı akışkanlığı sağlamak için daha az su gereksinimi olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da ortaya konmuştur [31].
- (iii) Aynı karışım için harç yoğunluğu azaldığında (köpük miktarı artırıldığında) aynı akışkanlığı sağlamak için gereken su miktarı artmaktadır.
- (iv) Taze harç yoğunluğu azaldığında akış süresi uzamakta, diğer deyimle akışkanlık azalmaktadır.
- (v) Mineral malzeme olarak sadece mermer tozu kullanılan karışımların daha az su ihtiyacı olurken, mermer tozu ile uçucu külden oluşan karışımlarda aynı akışkanlığı sağlamak için gereken su ihtiyacı bir miktar artış göstermiştir. Buna uçucu külün gözenekli yapısının neden olduğu düşünülmektedir.
- (vi) Normal betonlara benzer biçimde, köpük beton karışımlarda su/bağlayıcı oranındaki ilave bir artış mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir.
- (vii) Karışımdaki su miktarının belirlenmesinde Marsh Hunisi kullanılması pratik olarak yarar sağlamaktadır. Buna göre akış süresinin 1 dakikayı geçmesi durumunda harcın yüksek viskoziteyi sahip olduğu ve nihai mekanik özellikleri olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bununla birlikte 25 saniyeden az olan akış sürelerinde harcın aşırı akışkan olması ve harcın kalıpta çökmesine neden olmaktadır.

### TEŞEKKÜR

Yazarlar verdiği destek için (Proje no: 5140029) TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

**KAYNAKLAR**

- [1] Hanehara S. and Yamada K., Rheology and early age properties of cement systems. *Cement and Concrete Research*, 2008; 38(2), 175-195.
- [2] Jones MR, McCarthy A. (a) Utilising unprocessed low-lime coal ash in foamed concrete. *Fuel*, 84,1398–409, 2005.
- [3] Karl S, Worner JD., Foamed concrete-mixing and workability. In: Bartos PJM, editor. *Special concrete-workability and mixing*. London: E&FN Spon, p. 217–24, 1993.
- [4] Ramamurthy K, Nambiar E, Ranjani G. A classification of studies on properties of foam concrete. *Cem Concr Compos*,31(6):388–96, 2009.
- [5] Kearsley E.P., Wainwright P.J., The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete, *Cement and Concrete Research* 3, 2001; (1) 105–112.
- [6] Rousesel N., Rheology of fresh concrete: from measurements to predictions of casting processes, *Materials and Structures*, Vol. 40, 2007; pp.1001–1012.
- [7] M.R. Jones, M.J. McCarthy, A. McCarthy, Moving fly ash utilization in concrete forward: a UK perspective, in: *Proceedings of the 2003 International Ash Utilisation Symposium*, Centre for Applied Energy Research, University of Kentucky, 2003; pp. 20–22
- [8] Maziah M., Development of foamed concrete: enabling and supporting design. a thesis presented in application for the degree of doctor of philosophy Division of Civil Engineering University of Dundee, 2011.
- [9] Saucier F., Pigeon M., and Plante P., Air-void Stability, Part III: Field test of Superplasticized Concretes, *ACI Materials Journal*, 1990; 87 (1) p.3-11.
- [10] Dijik V. W. and Jong P., Determining the Rn exhalation rate of building material using liquidscintillation counting. *Healt Phys.*, 1991, 64 (4), 501-509.
- [11] Du L.and Folliard K. J., Mechanisms of air entrainment in concret, *Cement and Concrete Research*, 2005; 35 (8)1463-1471.
- [12] Valore Jr. R.C., Insulating concretes, *ACI J. Proc.* 53 (11), 1956.
- [13] Nambiar E.N., Ramamurthy K., Fresh state characteristics of foam concrete, *J. Mater. Civ. Eng.* 2008; 20 (2), 111–117
- [14] Karl S., Woerner J.D., Foamed Concrete-mixing and Workability, in: *Rilem Proceedings*, Chapman and Hall, 1994; p. 217.
- [15] Nambiar E.K., Ramamurthy K., Influence of filler type on the properties of foam concrete, *Cem. Concr. Compos.* 2006; 28 (5) (2006, b) 475–480.
- [16] Mugahed Amran Y.H., Farzadnia N., Abang A., Properties and applications of foamed concrete; a review, *Construction and Building Materials* 101, 2015; 990–1005
- [17] Valore Jr. R.C., Cellular concretes Part 1 composition and methods of preparation, *ACI J. Proc.* 1954; 50 (5)
- [18] ASTM, Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete, *ASTM C869-91, Q. C138*, Philadelphia, 1991.
- [19] Kearsley E.P., Visagie M., Micro-properties of Foamed Concrete. *Specialist Techniques and Materials for Construction*, Thomas Telford, London, 1999; pp. 173–184.
- [20] British Cement Association, *Foamed Concrete; Composition and Properties*, Report Ref. 46.042, BCA, Slough, 1994.
- [21] Nambiar E.K., Ramamurthy K., Models relating mixture composition to the density and strength of foam concrete using response surface methodology, *Cem. Concr. Compos.* 2006; 28 (9) (2006, a) 752–760.
- [22] Kayali O., Haque M.N., Zhu B., Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete, *Cem. Concr. Compos.* 2003; 25 (2) 207–213.
- [23] BS EN12350-6, *Testing Fresh Concrete: Density*, British Standards Institution, London, UK, 2009.
- [24] ASTM, Standard test method for foaming agents for use in producing cellular concrete using preformed foam, in: *ASTM C796-97; Standard Test Method for Unit Weight. Yield, and Air Content (Gravimetric) of concrete*, ASTM C138, Q. C138, Philadelphia, 1997.
- [25] Tikalsky P.J., Pospisil J., MacDonald W., A method for assessment of the freeze–thaw resistance

## Köpük Betonun Reolojik Özelliklerinin

- of preformed foam cellular concrete, *Cement and Concrete Research* 2004, 34 (5) 889–893.
- [26] Shi C., Composition of materials for use in cellular lightweight concrete and methods thereof, Advanced Materials Technologies LLC, Hamburg, NY (US), Patent no: US6488762 B1, 2002.
- [27] Ergene M. T., Foamed Concrete Structures, Hamburg, NY (US), Patent AU 115 FX Ergene, Stanley Works, New Britain, Patent no. US3867159 A, 1975.
- [28] Agarwal S.K., Masood I., Malhotra S.K., Compatibility of superplasticizers with different cements, *Constr. Build. Mater.* 2000, 14 (5) 253–259.
- [29] Jezequel P.H., Mathonier B., Foamed Concrete, Lafarge, Washington, DC (US), Patent no. WO2011101386 A1, 2014.
- [30] Tattersall G.H., *Workability and Quality Control of Concrete*, E & FN Spon, 1991, pp 262.
- [31] Zhihua P., Hengzhi L., Weiqing L., Preparation and characterization of super low density foamed concrete from Portland cement and admixtures, *Construction and Building Materials* 2014, 72 256–261.



## PSO, CS ve FA Algoritmalarıyla Ortak Emiterli BJT'li Yükselteç Tasarımı

Ali Fuat BOZ, Murat Erhan ÇİMEN\*

*Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya*

Received: 31.10.2016; Accepted: 01.12.2016

**Özet.** BJT'lerin, elektronik devrelerde önemli bir yeri olan yükselteçlerde kullanımı hala popülerliğini korumaktadır. Diğer taraftan, BJT'li yükselteçlerin istenilen karakteristiklerde tasarlanması önemli bir problemdir. Özellikle standart eleman değerleri ile istenilen yükselteç özelliklerini sağlamak için klasik tasarım yöntemlerini kullanmak önemli bir işlem yükü ve aşırı zaman kaybına neden olur. Bunun yanı sıra, elde edilen sonuçlarda, istenilen karakteristiklerden bir veya birkaçının elde edilememesi ihtimali de vardır. Yine, değişen bir parametre için yukarıda sayılan işlem yükünün tekrarlanması da gerekecektir. Bu çalışmada, bu probleme çözüm olarak ortak emiterli bir BJT'li yükseltecin standart eleman değerleri kullanarak tasarımı, Cuckoo Search, Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Ateşböceği algoritmaları kullanılarak yapılmıştır. Yine elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu algoritmalar sayesinde geleneksel yöntemlere göre işlem yükleri ortandan kalkmış ve yükseltecin istenilen karakteristikte çalışması için gereken standart eleman değerleri, belirlenen hata oranının altında seçilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yükselteç Tasarımı, PSO, Cuckoo Search, FireFly, Optimizasyon

## Common Emitter BJT Amplifier Design using PSO, CS and FA

**Abstract.** Basic purpose in the amplifier circuits design is to solve and select the standard component values for obtaining the desired circuit characteristics. If the classical design methods are selected then the process will take long time and need a lot of mathematical efforts. As a solution of these problems, in this work Cuckoo Search Algorithm, Partical Swarm Optimization Algorithm and FireFly Algorithm are proposed to determine the standard components values, which are in the market, for Common-Emitter Amplifier. Also, comparisons of the obtained results are given. By those algorithms, required mathematical efforts are reduced substantially. In addition to this, proposed methods provide to choose standard component values to obtain desired circuit characteristics under the specified process error.

**Keywords:** Amplifier Design, PSO, Cuckoo Search, FireFly, Optimization

### 1. GİRİŞ

Elektronik alanında kullanılan BJT'li yükselteçler elektronik devre tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yükselteçlerin tasarımı ve analizi karmaşık ve zahmetlidir. Klasik yöntemlerle çözülmeye çalışıldığında, istenilen sonuçları elde edebilmek için pek çok deneme yapmak gerekir. Bunun nedeni, tasarlanan devrenin istenilen kısıtlar ve karakteristikler için seçilen/tasarlanan eleman değerlerinin, standart eleman değerlerinden farklı olmasıdır.

Klasik yöntem ile tasarımda, elemanlar genellikle ideal ve değerleri sınırsız olarak kabul edilir. Gerçekte ise dirençler E12, E24, E48, E96 ve kondansatörlerde E3, E6, E12, E24 gibi uluslararası belli standartlarda üretilmektedir. Böyle olunca klasik yöntem ile hesaplanan eleman değerleri, standart eleman değerlerine en yakın olanları seçilerek devre gerçekleştirilir. Bu da beraberinde istenilen çözümden sapmalar meydana getirmektedir. Literatürde, sapmaları azaltarak, optimum tasarım yapabilmek için farklı yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler doğadan esinlenilerek zor problemlerin çözülmesi için üretilmiş olan Genetik algoritma(GA), Karınca Kolonisi Algoritması(KKA), Tabu Search Algoritması(TS), Benzetiilmiş Tavlama(SA), Arı Kolonisi Algoritması(BC), Firefly Algoritması(FA), Cuckoo Search(CS), Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO), Differential Evolation(DE) v.b. sezgisel

\* Corresponding author. Email address: muratcimen@sakarya.edu.tr

algoritmalarıdır. Bu algoritmaların kendilerine özgü avantajları olduğu gibi, farklı problemler için farklı başarımları vardır.

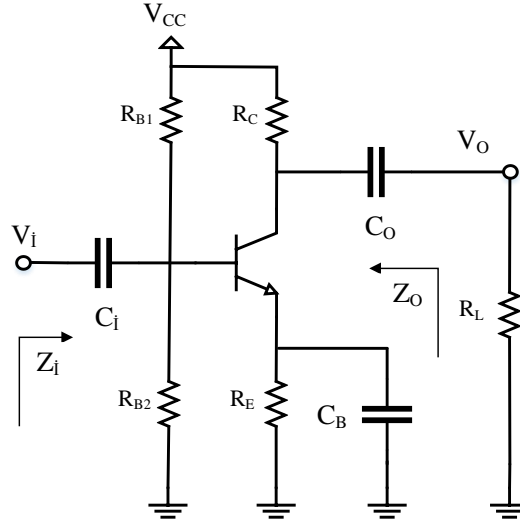
Literatürde David ve ark. GA kullanarak alçak geçiren bir aktif filtre tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri yöntemi klasik yöntem ile karşılaştırmışlar ve önerdikleri yöntemin standart devre elemanı seçiminde başarılı olduğunu görmüşlerdir[1]. Bununla birlikte, Turgay ve ark. GA kullanarak Sallen-Key bant geçiren filtre için tasarım yapmışlar, fakat standart eleman değerlerini kullanmamışlardır[2]. Adem Kanalı, KKA kullanarak farklı filtre devreleri için standart eleman değerlerini buldurarak çözüm yapmış ve elde edilen sonuçların, klasik yöntemle göre daha başarılı olduğunu göstermiştir[3]. Mourad ve ark., MOSFET’li yükselteçler için PSO algoritması kullanarak gerilim kazancı ve frekans karakteristiği için analizler yapmışlar ve sonuçlarını Pspice programında gerçekleştirmişlerdir. Kısıtların artması durumunda, PSO’nun diğer algoritmalara nazaran daha iyi sonuç verdiği görülmüştür[4]. Mondal ve Ark., geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonunu yüksek bant geçiren FIR filtresine uygulamışlar ve farklı algoritmalarla karşılaştırarak kendi önerdikleri yöntemin en iyi sonucu verdiğini göstermişlerdir[5]. Ayrıca Gao ve ark., Adaptif IRR filtresini PSO kullanarak FPGA tabanlı bir uygulama olarak yapmışlar ve simülasyonlar ile PSO’nun FPGA’ye başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermişlerdir[6]. Mehmet A. Belen ve ark. FA kullanarak mikrodalga transistör için performans analizi yapmışlar ve yaptıkları simülasyonlar da başarılı sonuçlar almışlardır[7]. Ayrıca Engin Karaarslan ve ark. ise FA ile haftalık ders programına çözüm getirecek bir yazılım geliştirmişlerdir. Ayrıca FA’nın son zamanlarda farklı alanlara da uygulanabildiğini belirtmişlerdir[8, 9].

Bu çalışmada CS, PSO ve FA algoritmaları Ortak Emiterli BJT’li yükselteç devresi tasarımına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile bu problem için başarımları, çözüm süreleri ve iterasyon sayıları karşılaştırılmıştır.

## 2. ORTAK EMİTERLİ YÜKSELTEÇ DEVRESİ

Bilindiği gibi yükselteçler, girişindeki sinyali akım, genlik veya güç olarak yükselten devrelere verilen genel bir isimdir. İyi bir yükselteçten istenen, yukarıda belirtilen yükseltme işlemi, belirlenen sınırlar içerisinde ve bozulma olmadan gerçekleştirmesidir. Pratikte bu işlemi yapacak farklı devre modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerden bazıları yüksek frekans uygulamalarında bazıları ise empedans uygunlaştırma gibi farklı amaçlar ile kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, yukarıda sayılan devre çeşitlerinden biri olan ve Şekil 1’de görülen gerilim bölücülü ortak emiterli yükselteç devresi ele alınmıştır. Buradaki amaç, devrede bulunan eleman değerlerinin istenilen giriş empedansı( $Z_i$ ), gerilim kazancı( $A_v$ ) ve maksimum çıkış gerilim( $V_{o(p-p)max}$ ) değerlerine bağlı olarak standart değerlerinin hesaplanmasıdır. Tasarım, devrenin orta frekans bölgesinde çalıştığı farz edilerek yapılmıştır.



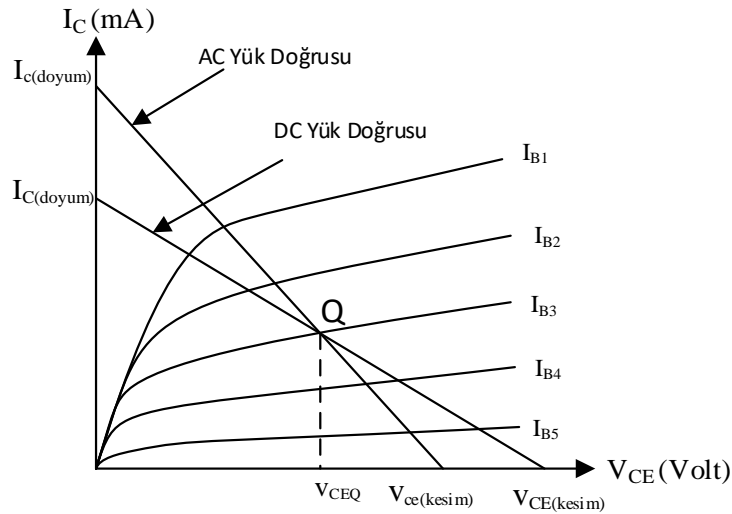
Şekil 1: Ortak Emiterli Yükselteç[10]

### 1.1. DC Analiz, Yük Eğrisi, Çalışma Noktası

Yukarıda belirtilen tasarım kriterlerinden olan ve bir yükseltecin çıkışından bozulma olmadan alınabilecek maksimum tepeden-tepeye gerilim değerini veren  $V_{O(p-p)max}$ , doğrudan devrede kullanılan transistörün çalışma noktasına(Q) bağlı olarak belirlenmektedir. Yük doğrusu üzerinde yanlış bir noktanın seçimi, bu tasarım kriterinin elde edilememesini de beraberinde getirir. Dolayısı ile tasarım açısından çalışma noktası tayini büyük öneme sahiptir. Çalışma noktasını belirleyen devrenin sahip olduğu akım( $I_{CQ}$ ,  $I_{BQ}$ ) ve gerilim( $V_{CEQ}$ ) değerleri ise DC analiz ile bulunabilmektedir.

DC analiz için Şekil 1’de görülen kondansatörler açık devre yapılı ve çevre denklemleri uygulanırsa,  $I_{BQ}$  akımı bulunabilir. Eşitlik-1’den de  $I_{CQ}$  akımı bulunabilir. Bilinen  $I_{CQ}$  akımı ile transistör çıkışından bir çevre denklemi yazıldığında, yük doğrusu denklemi elde edilir. Elde edilen bu denklemlerden  $V_{CEQ}$  gerilimi bulunabilir. Bulunan değerler Şekil 2’de görülen yük doğrusu üzerinde yerine yazılırsa, transistörün Q çalışma noktası belirlenmiş olur[10].

$$I_C = \beta I_B \quad (1)$$



Şekil 2: Transistörün Yük Doğruları ve Q Çalışma Noktası[10].





Sezgisel yöntemler ile tasarımda, istenilen eleman değerlerinin bulunması için algoritmaların kullanılacağı bir amaç fonksiyonu tanımlamak gerekmektedir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu, istenilen değerler ile algoritmanın bulmuş olduğu değerlerin mutlak farkı şeklinde seçilmiştir. (Eşitlik-9, 10, 11) Ayrıca algoritmalar bu amaç fonksiyonunu yerine getirirken, bazı durumların belirli sınırlar içinde kalması yada bir noktada durması istenebilir. Bu çalışmada, transistörün  $V_{CE}$  gerilimi için aşağıda görülen 3 kısıt eklenmiştir. Bu kısıtlar istenirse arttırılabilir.

Amaç Fonksiyonu;

$$a = \frac{|Z_i - Z_{i\_istenilen}|}{|Z_{i\_istenilen}|} \quad (9)$$

$$b = \frac{|A_v - A_{v\_istenilen}|}{|A_{v\_istenilen}|} \quad (10)$$

$$F = a + b + \text{Kısıtlar}; \quad (11)$$

Kısıtlar;

$$V_{CE} < V_{CC} \quad (12)$$

$$V_{CE} > 0 \quad (13)$$

$$V_{o(p-p)\_istenilen} < V_{o(p-p)} \quad (14)$$

### 3. CUCKOO SEARCH ALGORİTMASI

Cuckoo Search Algoritması(CS), guguk kuşunun çoğalma stratejilerinden faydalanılarak Xin-She ve Suash Deb tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır. Esasında kuluçka parazitliğinden(brood parasitism) esinlenilerek geliştirilmiştir[11]. Guguk kuşları başka yuvalara uçarak, oradaki yuvaya yumurtlamaktadır. Yumurtladıkları yuvada/konakta, yumurtadan çıkma olasılığı yüksek olan konağın yumurtalarını da yuvadan atarlar. Asıl yuvanın sahibi geldiğinde yabancı yumurtayı tanırsa yabancı yumurtayı ya aşağı atar ya da yuvayı terk eder. Eğer tanımazsa, o yumurtaların üzerine oturarak kuluçka asalaklığına maruz kalır. Bu durumların kurallaştırılması aşağıdaki gibi olmaktadır[11, 12].

- Her kuş bir tane rastgele yuvaya bir tane yumurta bırakabilir.
- Yuvada kaliteli yumurta varsa bir sonraki nesle aktarılmaktadır.
- Konak yuvanın sahibi, bırakılan yumurtayı belirli bir  $p_a \in (0,1)$  olasılığında tanıyabilmektedir. Eğer yumurtayı tanırsa, yumurtayı yuvadan aşağı atabilir veya yuvayı terk ederek kendisine yeni bir yuva inşa edebilir.

Sezgisel algoritmalar global ve lokal aramayı yaparken, doğası gereği olarak en iyi çözüme yaklaşmaktadır. Fakat diğer olası çözümleri bulabilmesi için keşifte yapması gerekmektedir[13, 14]. Böyle olduğu için, CS global rassal yürüyüş ve lokal rassal yürüyüş yaklaşımlarının bir arada dengelenerek kullanıldığı bir algoritma haline gelmektedir. Bu rassal yürüyüşler de manevra parametresi tarafından kontrol edilmektedir [12, 15].

Yerel rassal yürüyüşü ifade eden denklemde (Eşitlik-15)  $x_k^f$  ve  $x_k^f$  rassal permüstasyonla belirlenmektedir.  $H(u)$  Heaviside adım fonksiyonudur ve  $\epsilon$  parametresi ise düzgün dağılımdan gelen rassal bir sayı iken,  $s$  ise adım uzunluğudur[12, 15].

$$x_i^{f+1} = x_i^f + as \otimes H(p_a - \epsilon) \otimes (x_i^f - x_k^f) \quad (15)$$

Global rassal yürüyüş ise aşağıda kuralları verilen Levy flight ile gerçekleştirilmektedir.

$$x_i^{f+1} = x_i^f + \alpha L(s, \lambda) \quad (16)$$

$$L = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} \quad (17)$$

$$(s \gg s_0 > 0)$$

Levy uçuşu, yeni nesiller üretebilmek için gerçekleştirilir. Burada  $\alpha > 0$  olmak üzere problemin büyüklüğüne bağlı olarak Levy uçuşunu ölçeklendirmektedir[11, 12, 15].

Bu denklemlere bakıldığında, bir sonraki durumun şu anki duruma ve geçiş olasılığına bağlı olduğu görülmektedir. Yeni çözüm kümelerinin o anki en iyi çözümden rassal bir şekilde yeterli seviyede uzaklaşması lazım ki lokal bir noktada takılıp kalmasın. Algoritmanın daha anlaşılır olması için adımları aşağıda verilmiştir.

```

Amaç fonksiyonu  $f(x)$ ,  $x=[x_1 \dots x_d]^T$ 
n adet konak yuvası başlangıç popülasyonu üret
while(Durudurma Kriteri)
Levy Uçuşu ile rassal guguuk kuşu al
 $F_i$  maliyetini bul
n yuva içinden rassal yuva seç
if( $F_i > F_j$ )
j'yi yeni çözümle değiştir.
End
En kötü yuvaların  $p_a$  oranı kadarını terk et yenilerini
inşa et
İyi çözümleri tut
Çözümleri sırala ve o anki en iyi çözümü bul
End
    
```

Şekil 4: Cuckoo Search Algoritması(CS) [11]

#### 4. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) kuş, balık ve havyan sürülerinin çevrelerine adapte olma, zengin yiyecek kaynağı bulabilme ve avcılardan kaçabilme yeteneklerinden esinlenilerek Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır. PSO, popülasyon temelli olup, en belirgin özelliği bilgi paylaşmaya yönelik olmasıdır. Popülasyondaki her birey, parçacık olarak da adlandırılmaktadır. Bu bireyler, pozisyon ve hız bilgilerine sahiptirler. Her bir iterasyonda hıza göre pozisyonları güncellenmektedir. Her bir birey(parçacık), bir sonraki pozisyonunu ayarlarken, sürünün en iyi pozisyonuna( $g_{best}$ ) ve şu ana kadar bulunduğu en iyi pozisyona( $p_{best}$ ) göre hareket etmektedir. Parçacığın pozisyonu  $p$ , hızı  $v$  olarak tanımlanır ise bir sonraki iterasyonda pozisyon ve hız bilgisi aşağıdaki denklemlerdeki (Eşitlik 18-19) gibi güncellenir[16, 17].

$$v_{t+1} = wv_t + c_1r_1(p_{best} - p_t) + c_2r_2(g_{best} - p_t) \quad (18)$$

$$p_{t+1} = p_t + v_{t+1} \quad (19)$$

Eşitlik-18 de,  $r_1$  ve  $r_2$  programın üretmiş olduğu ve değeri 0-1 arasında değişen rastgele sayılardır.  $c_1$  ve  $c_2$  öğrenme faktörü olup, genelde 1,8-2 değerini almaktadır.  $w$  ise atalet momenti olup, hızın etkisini zamanla azaltmaya yaramaktadır. Fakat belli bir iterasyondan sonra çok küçülmesi, parçacıkların hareket edememesine neden olmaktadır[16, 18]. PSO algoritması aşağıda verilmiştir.

Begin

```

Amaç fonksiyonu  $f(x)$ ,  $x=[x_1 \dots x_n]^T$ 
Başlangıç pozisyonlarını  $x_i$ , hızlarını  $v_i$  belirle
min  $\{f(x_1) \dots f(x_n)\}$   $g^*$  ata
while(Durdurma Kriteri)
for n parçacık için ve d boyut için
Yeni hızları oluştur ( $v_i^{t+1}$ )
Yeni pozisyonları oluştur ( $x_i^{t+1}$ )
 $f(x_i^{t+1})$ 'leri hesapla ve değerlendir
Her parçacığın en iyi değerini hesapla
end
En iyi çözümü bul  $g^*$  ata
t=t+1 i güncelle
end
xi* ve g* göster

```

End

Şekil 5. Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) Algoritması[16]

## 5. ATEŞ BÖCEĞİ ALGORİTMASI

Ateş Böceği Algoritması(FA), Ateş böceklerinin parlaklık ve hareket yönlerinden faydalanılarak Yang tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır[12, 19]. Bu canlılar, ışığı geceleri avlarını yakalamak veya eşlerini cezbetmek için kullanırlar. Ayrıca bu canlılar, saldırlardan korunmak için esans ve ışık yayarlar. Bununla birlikte, parlaklığı yüksek olan ateşböcekleri doğası gereği diğer ateş böceklerini kendine doğru çekerler. Ateş Böceklerinin davranışları kurallaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar çıkar [9, 12].

- Ateş böcekleri cinsiyet ayrımı yapmaksızın birbirlerini etkileyebilirler.
- Ateş böceklerinin çekiciliği, parlaklığı ile orantılıdır. Az parlak olanlar çok parlayanlara doğru hareket ederler.
- Ateş böceğinin parlaklığı, çözülmesi istenen fonksiyonun ürettiği değer ile belirlenir.

Ateş böceklerinin ışık yoğunluğu( $I$ ) değeri Eşitlik-20'de verilmiştir. Bu değer başlangıç ışık yoğunluğuna( $I_0$ ), gammaya( $\gamma$ ) ve uzaklığa( $r$ ) bağlıdır.

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (20)$$

## PSO, CS ve FA Algoritmalarıyla

Eşitlik-21’de Ateş böceklerinin çekiciliğini( $\beta$ ) veren denklemdeki (Eşitlik-21) başlangıç değeri( $\beta_0$ ), aslında iki ateşböceğinin arasındaki uzaklığın sıfır olduğu andaki değeri göstermektedir. Çekicilik, uzaklığın karesi, gamma ve başlangıç değerine bağlıdır.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (21)$$

Eşiklik-21’i kullanarak çekiciliği hesaplama bazen zor olabildiğinden, işlemleri kolaylaştırmak için Eşitlik-22 de kullanılabilir[19].

$$\beta = \frac{\beta_0}{1+\gamma r^2} \quad (22)$$

Ateş böceklerinin birbirine olan uzaklıkları önem arz etmektedir, çünkü uzaklıkla hem ışık yoğunluğu hemde çekicilik değişmektedir. Dolayısıyla bu değişimler, ateş böceği için hareketi belirleyecektir. Uzaklık, Eşitlik-23’deki gibi hesaplanabilir.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (23)$$

Ateş böcekleri daha parlak ve daha çekici olan ateş böceklerine doğru hareket ederler. Bu hareket, Eşitlik-24’deki gibi ifade edilebilir. Eşitlikte bulunan ikinci ifade çekicilik formülünden gelmektedir. Yani, iki ateş böceği arasındaki uzaklık ve çekiciliğin çarpılması ile ifade edilmektedir. Üçüncü ifade de bulunan  $\alpha$  rastlantı parametresi,  $\varepsilon$  ise gaussian dağılımından gelen bir vektörü ifade etmektedir[7, 12].

$$x_i^{t+1} = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i^t \quad (24)$$

FA algoritması aşağıda verilmiştir.

```
Amaç Fonksiyonu belirlenir f(x),  $x=(x_1, \dots, x_n)^T$ 
n adet ateş böceği başlangıç popülasyonu
değerleri üret
Işık yoğunluğu(l), f(x) ile belirlenir
Işık emilimi ( $\gamma$ ) belirlenir.
while ( Durdurma kriteri)
  for i=1:n
    for j=1:n
      if ( $l_i < l_j$ )
        Ateş böcekleri i’den j’ye hareket eder
      end if
      uzaklık ve  $[\exp(\gamma r^2)]$  kullanarak çekiciliği değiştir
    end for j
  end for i
  Ateş böcekleri sıraya konular ve global en iyi (g)
  bulunur.
end while
Sonuçlar görüntülenir.
```

Şekil 6. Ateş Böceği Algoritması(FA) [12]

## 6. PROBLEMİN ALGORİTMALARA UYARLANMASI

Her üç algortmada da devrenin istenilen çıkışları verebilmesi için giriş empedansı  $Z_i$ , gerilim kazancı  $A_v$  ve çıkış genliği olan  $V_{o(p-p)max}$  değerleri tanımlanmıştır. Ardından, dirençlerin alabileceği maksimum ve minimum değerleri tanımlanarak algoritma çalıştırılmıştır. Durdurma kriteri ise; bulunan giriş empedansı ( $Z_i$ ), gerilim kazancı  $A_v$ , ve çıkış geriliminin ( $V_{o(p-p)max}$ ) istenilen değerler ile arasındaki farkın %10'un altına düşmesi veya 1000 iterasyon olarak tanımlanmıştır. Aksi takdirde istenilen değerler için algoritma başarısız sayılmıştır.

### 6.1. Problemin Cuckoo Search Algoritmasına Uyarlanması

Tanımlamalar yapıldıktan sonra amaç fonksiyonu belirlenmiş ve ardından popülasyon büyüklüğü 40 olarak seçilmiştir. Adım uzunluğu 0.05,  $\lambda$  parametresi 1.5 ve  $p_a$  parametresi ise 0.25 olarak alınmıştır[12]. Konak yuvaların başlangıç değerleri, direnç değerlerinin minimum ve maximum değerleri arasında rastgele değerler atanılarak belirlenmiştir. Popülasyonun büyüklüğü problemde kullanılan dirençler ile doğru orantılıdır. Çünkü her bir direnç değerini bulmak için popülasyona, o direnç değerleri içinde değer atanarak işlemler yapılmaktadır. Ardından her bir yuva için uygunluk değerleri hesaplanmıştır. Yani yuvada bulunan yumurtalar(direnç kümeleri) için. Ardından global arama yapabilmek için Levy uçuşu (Eşitlik 16-17) gerçekleştirilmiştir. Buradan gelen yeni çözümlerin uygunluğu ölçülerek, bulunan çözümlerin kötü olanlarının yerleri değiştirilmiştir. Ardından lokal arama yapabilmek için Eşitlik-15 gerçekleştirilmiştir. Tekrar lokal arama sonucu elde edilen çözümlerin uygunluğu bulunarak, iyi olanları için o direnç değerlerinin yerleri değiştirilmiştir. Sonrasında ise durdurma kriteri kontrol edilerek eğer kriter sağlanıyorsa bir sonraki iterasyona geçilmiştir.

### 6.2. Parçacık Sürü Optimizasyonun Probleme Uyarlanması

CS algoritmasında olduğu gibi, ilk olarak tanımlamalar yapılarak amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Ardından parametreler belirlenerek, popülasyon büyüklüğü 40, momentum katsayısı 0.9,  $c_1$  ve  $c_2$  2 olarak belirlenmiştir[17]. Parçacıkların hızlarına ilk olarak 0 değerleri atanmıştır. Ardından parçacıklara başlangıç değeri olarak, belirlenen kısıtlar arasındaki direnç değerlerinden rastgele reel sayılar verilmiştir. Sonra programı bir döngüye alarak, istenen durdurma kriteri sağlanana kadar çalıştırılmıştır. Döngü içinde hızlar hesaplanıp, ardından bu hızlar ile parçacıklar hareket ettirilmekte ve bulunan parçacıkların yeni konumlarının uygunlukları belirlenmektedir. İyi olanların yerleri değiştirilerek  $p_{best}$  ve  $g_{best}$  değerleri belirlenmektedir. Her bir parçacık için hız değerleri hesaplanarak döngü tekrar başa gelmekte ve işlemler tekrar edilmektedir.

### 6.3. Problemin Ateş Böceği Algoritmasına Uyarlanması

Diğer algoritmalarda olduğu gibi ilk olarak tanımlamalar yapılmıştır. Amaç fonksiyonu belirlenerek diğer algoritmalarla aynı olması için popülasyon büyüklüğü(n) 40 olarak belirlenmiştir. Ardından kontrol parametreleri belirlenerek, rastgele sayının parametresi olan alfa( $\alpha$ ) 0.2 olarak seçilmiştir. Çekiciliğin başlangıç değeri( $\beta_0$ ) 0.8 olarak seçilmiştir. Ardından dirençlerin sınırları belirlenerek, sınır değerleri dahilinde rastgele değerler atanmıştır. Işık yoğunluğu( $\gamma$ ) bu problem için 0.9 olarak belirlenmiştir. Sonra döngü oluşturulmuştur. Durdurma kriteri olarak seçilen hatanın %10'un altına düşmesi için 1000 iterasyon sağlanana kadar döngü çalıştırılmıştır. Döngü içinde ilk olarak ateş böceklerinin birbirine olan çekiciliğine bakılmış daha parlak ve çekici olanlara doğru diğerleri hareket ettirilmiştir. Hareket sonrası tekrardan çekicilik ve ışık yoğunluğu hesaplanmıştır. Tüm ateş böcekleri hareket ettirildikten sonra, sonuçlar belirlenen amaç fonksiyonuna göre sıraya konularak, o iterasyon için en iyi sonuç belirlenmiştir. Akabinde durdurma kriteri kontrol edilip, şart sağlanıyorsa döngüye devam edilmiş, sağlanmıyorsa döngü kırılarak sonuçlar görüntülenmiştir.

## 7. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu çalışmada, tasarımı yapılmak istenilen ortak emiterli yükselteç devresinden istenilenler gerilim kazancı( $A_v$ ), giriş empedansı( $Z_i$ ) ve maksimum çıkış gerilimi değeri( $V_{o(p-p)max}$ ) olarak belirlenmiştir. Kısıt olarak ise standart direnç değerlerinin kullanılması seçilmiştir. Gerekli olan standart direnç değerlerinin hesaplanması için geleneksel yöntemden ziyade PSO, CS ve FA algoritmaları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu yükselteç devresi için 20 farklı çalışma noktası için analizler yapılmıştır. Bu sonuçlar Intel(R) Core(TM) i7-6700 HQ CPU @ 2.60 Ghz, 64 Bit, 8GB RAM'e sahip bir bilgisayardan elde edilmiştir. Yapılan çalışma Matlab 2013a programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** CS, PSO ve FA için Örnek Uygulamalar

	Devreden İstenilen Karakteristikler			Algoritmanın E24 Standardına Göre Bulduğu Direnç Değerleri				Algoritmanın Bulduğu Sonuçlar			Yüzde Hata
	$Z_i(\Omega)$	$A_{v_n}$	$V_{o(p-p)}(V)$	$R_{B1}(k\Omega)$	$R_{B2}(k\Omega)$	$R_C(\Omega)$	$R_E(k\Omega)$	$Z_i(\Omega)$	$A_{v_n}$	$V_{o(p-p)}(V)$	
CS	2000	-10	3,6	24	82	160	1.3	1983,502	-10,158	5,132	%2.4
PSO	2000	-10	3,6	20	10	150	1.8	2015,376	-9,722	6,989	%3.54
FA	2000	-10	3,6	130	47	120	0.910	2123,100	-10,06	4,706	%6.75
CS	2700	-80	5	33	10	4700	1.5	2553,055	-78,339	7,209	%7.51
PSO	2700	-80	5	27	10	5600	2	2650,947	-75,873	5,085	%7,02
FA	2700	-80	5	39	10	5100	1.3	2654.505	-77,180	7,354	%5.21
CS	3000	-10	3	27	5.6	470	2	2898,429	10,0229	3,212	%3.61
PSO	3000	-10	3	20	6.8	390	3	2889,249	-9,8757	5,163	%4.93
FA	3000	-10	3	27	5.6	470	2	2894,400	-10,022	3,212	%3.74
CS	5000	-20	2	56	7.5	9100	2.4	4810,216	-20,091	2,460	%4.25
PSO	5000	-20	2	62	7.5	5100	1.8	4719,800	19,184	2,165	%9.68
FA	5000	-20	2	390	91	750	1.3	5136,300	20,263	3,502	%4.04

Tablo 1'de verilen deney sonuçlarından seçilen bir kaç örnek uygulamanın sonuçlarına bakıldığında,  $Z_i$  ve  $A_{v_n}$ 'ye bağlı olan amaç fonksiyonu(Eşitlik 9-10), %10'un altında değerler vermiş ve kısıt olarak seçilen  $V_{o(p-p)}$ 'nin(Eşitlik 11) istenen değeri sağladığı görülmektedir. Yapılan uygulamalarda  $V_{CC}$  gerilimi 12 Volt,  $\beta$  değeri 200 ve  $R_L$  yük direnci 2.2 k $\Omega$  olarak alınmıştır.

**Tablo 2.** CS, PSO ve FA algoritmalarının sonuçlarının istenilen sonuçlara benzerlikleri.

	$Z_i$	$A_{v_n}$
<b>CS</b>	0,993	0,999
<b>PSO</b>	0,99	0,999
<b>FA</b>	0,992	0,999

Tablo 2'de Ortak Emiterli Yükselteç devresinin CS, PSO ve FA ile çözümlerinde herbirinin 20 farklı çalışma noktası için yapılan deneylerde elde edilen çıkışların, istenilen çıkışlarla algoritmaların bulmuş olduğu çıkışlar arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ve sonuçların ne derece benzer olduğu korelasyon katsayısı ile ifade edilmektedir.

## BOZ, ÇİMEN

Belirlenen hata oranlarına bakıldığında, aslında tüm algoritmaların istenilen tolerans değerleri içerisinde sonuçlar ürettiği görülmektedir. Fakat benzerliğine bakıldığında, 0,993 ile giriş empedansına( $Z_i$ ) en yakın sonucu bulan CS olmuştur. Çıkış kazancına( $A_{Vn}$ ) bakıldığında ise tüm algoritmalar bu 20 farklı örnek içinde benzer sonucu vermişlerdir.  $V_{o(p-p)}$ , tüm algoritmalarda belirlenen şart olan “*istenen çıkış geriliminin üstünde*” (Eşitlik 14) değerlerini sağlamıştır. Eğer sağlamamış olsaydı, kısıtlardan dolayı algoritmaların başarıma kriterini sağlamamış olurdu.

**Tablo 3.** CS, PSO ve FA Hesaplama Süreleri (20 Örnek için).

Süre (sn)	CS	PSO	FA
Ortalama	1,007	0,601	0,515
Standart Sapma	0,269	2,157	0,829
Toplam Süre(sn)	20,130	12,020	10,300

Hesaplama sürelerinin sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında Ateş Böceği algoritması hem ortalama hem de 20 örneğin toplamı 10,3 sn olduğundan, diğer algoritmalara göre daha hızlı işlem yapmıştır. CS ise yaptığı işlemler nedeniyle 20,13 sn ile diğer algoritmalara nazaran yavaş kalmıştır. Fakat standart sapması 0,269 olduğu için, diğer algoritmalara göre kararlı bir yapısı olduğu görülmektedir. Bu bakımdan PSO, CS’den daha hızlı olmasına rağmen, standart sapması yüksek olduğu için 20 örnek içinde bazılarını daha uzun sürede bulmuştur. Bunun nedeni başlangıçta değişkenlere rasgele atanan değerlerden kaynaklanmaktadır.

**Tablo 4.** CS, PSO ve FA İterasyon Sonuçları (20 Örnek için).

İterasyon	CS	PSO	FA
Ortalama	19,950	188,350	60,600
Standart Sapma	25,370	675,000	130,000
Toplamı	399	3767	1212

Algoritmaların iterasyon sayıları Tablo 4’de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 399 iterasyon yaparak en az iterasyon ile sonuç bulan algoritma CS iken, 1212 iterasyon ile en fazla iterasyon yapan algoritma PSO algoritması olmuştur. Bunun nedeni algoritmaların yapısından kaynaklanmaktadır. CS bir adımda çok fazla işlem yaparken, PSO ve FA algoritmaları bu kadar çok işlem yapmamaktadır.

Bu problem için, giriş empedans( $Z_i$ ) ve gerilim kazancı( $A_{Vn}$ ) için en iyi sonuçları CS bulmasına rağmen, süre bakımından FA’nın daha avantajlı olduğu görülmüştür.

## 8. SONUÇ

Bu çalışmada Ortak Emiterli bir yükselteç devresinin giriş empedansının( $Z_i$ ) ve gerilim kazancının( $A_{Vn}$ ) istenilen değerlerde olması ve maksimum çıkış geriliminin( $V_{o(p-p)}$ ) istenilen değerden yüksek olmasını sağlayacak standart elemanların seçimi için CS, PSO ve FA algoritmalarına dayalı bir tasarım yaklaşımı önerilmiştir. Bu problem için, CS’nin doğruluk ve kararlılık bakımından iyi sonuçlar verdiği, fakat süre bakımından FA’nın daha avantajlı olduğu görülmüştür. Sonuçların, belirlenen %10 hata oranının altında olması, başarı bakımından PSO, CS ve FA’nın istenilen sonuçları sağladığı görülmüştür.



**KAYNAKLAR**

- [1]. David H. Horrocks and Mark C. Spittle, "Component Value Selection For Active Filters Using Genetic Algorithms," *IEE/IEEE Workshop on Natural Algorithms in Signal Processing*, vol. 1, pp. 13/1-13/6, 1993.
- [2]. T. Kaya and M. C. İnce, "Genetik Algoritmaların Aktif Filtrelerde Kullanımı," *ELECO-2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Turkey*, pp. 512-515, 26-30 Kasım 2008.
- [3]. A. Kalinli, "Karınca Koloni Algoritması Kullanarak Aktif Filtre Tasarımı," *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, pp. 267-270, 2003.
- [4]. M. Fakhfakh, Y. Cooren, A. Sallem, M. Loulou, and P. Siarry, "Analog circuit design optimization through the particle swarm optimization technique," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 63, pp. 71-82, 2009.
- [5]. S. Mondal, Dishari Chakraborty, R. Kar, D. Mandal, and S. P. Ghoshal, "Novel Particle Swarm Optimization for High Pass FIR Filter Design."
- [6]. Z. Gao, X. Zeng, J. Wang, and J. Liu, "FPGA implementation of adaptive IIR filters with particle swarm optimization algorithm."
- [7]. M. A. Belen, M. Alıcı, A. Çor, and F. Güneş, "Ateşböceği Algoritması ile Mikrodalga Transistör Performansının Karakterizasyonu," *ELECO-2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, pp. 491-494, 2014.
- [8]. X. S. Yang and X. He, "Firefly algorithm: recent advances and applications," *International Journal of Swarm Intelligence*, vol. 1, p. 36, 2013.
- [9]. E. KARAARSLAN and K. ZENGİN, "Ateş Böceği Algoritması ile Haftalık Ders Programı Hazırlama," *EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 11-13 Mayıs 2016.
- [10]. R. BOYLESTAD and L. NASHELSKY, "ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT THEORY."
- [11]. X.-S. Yang and S. Deb, "Cuckoo Search via Lévy Flights," *Nature & Biologically Inspired Computing*, pp. 210 - 214, 9-11 Dec. 2009.
- [12]. X.-S. Yang, "Nature-Inspired Optimization Algorithms, 1st Edition," *Elsevier*, 20 Feb 2014.
- [13]. Y. X-S, "Harmony Search as a metaheuristic algorithm Music-inspired harmony search: theory and application," 2009.
- [14]. A. H. Gandomi, X.-S. Yang, and A. H. Alavi, "Cuckoo Search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems," *Springer-Verlag*, vol. 29, p. 18, 2013-01.
- [15]. K. Karagül, "Guguk Kuşu Algoritması: Bir Plastik Atık Toplama Uygulaması," *15th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistic, Isparta, Turkey*, vol. 15, pp. 775-784, 22-25 May 2014.
- [16]. A. T. F. E. S. O. İnce, "Sensör Yerleştirme Probleminin Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Çözümü."
- [17]. Y. S. a. R. Eberhart, "A Modified Particle Swarm Optimizer," 1998.
- [18]. P. Civicioglu and E. Besdok, "A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms," *Artificial Intelligence Review*, vol. 39, pp. 315-346, 2011.
- [19]. X.-S. Yang, "Firefly Algorithms for Multimodal Optimization," 7 Mar 2010.



## Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Sivas Kenti ve Yakın Çevresi İçin Yerleşim Açısından

### En Uygun Alanların Belirlenmesi

Can Bülent KARAKUŞ<sup>1\*</sup>, Orhan CERİT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 58140, Sivas

<sup>2</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

Received: 28.11.2016; Accepted: 08.02.2017

**Özet.** Planlama çalışmalarında; araziden faydalanan ormancılık, tarım, mera, sanayi, ulaşım gibi sektörlerin mevcut çalışma alanlarının biyofiziksel, sosyal, ekonomik, kültürel ve diğer çevresel değişkenlere bağlı olarak sektörel arazi uygunluklarının belirlenmesinin yanında yerleşim açısından en uygun alanların belirlenmesi de oldukça önemlidir. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nin bir planlama gereksinimi sonucu ortaya çıktığı ve en önemli özelliğinin harita çakıştırma yöntemi olduğu düşünülecek olursa, arazi kullanım planlama çalışmalarında kullanılacak en etkili, doğru ve hızlı araç olduğu daha iyi anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı; Sivas kent merkezi ve yakın çevresinde, ileriye yönelik planlama çalışmaları için yerleşim açısından en uygun alanların belirlenmesi ve bu alanlara ilişkin öneriler geliştirilmesidir. Bu kapsamda alana ilişkin doğal peyzaj elemanları (arazi yetenek sınıfları, jeoloji, eğim, erozyon, bakı, yükseklik), CBS temelinde geliştirilen "Doğal Potansiyelin Sektörel Kullanımlara Uygunluk Değeri Analizi" ve "Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay)" işlemlerine tabi tutulmuştur. Analizler sonucu uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Uygunluk haritaları, yerleşime en uygun alanların (2. derece olarak ifade edilen) çalışma alanının güneydoğu kısmında yer aldığını göstermiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, imar planı revizyonunda ve ileride yapılması düşünülen sektörel planlama çalışmalarında yerel yönetimler tarafından dikkate alınması gerektiği önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sivas, Coğrafi Bilgi Sistemleri, kentsel planlama, yerleşime uygunluk

## Determination of The Most Suitable Areas in Terms of Settlement for Sivas City and its Surroundings by Using GIS

**Abstract.** In the planning works; it is also important the determination of the most suitable areas in terms of settlement besides the determination of sectoral land suitability due to biophysical, social, economic, cultural and other environmental variables of the current working areas of sectors, such as forestry, agriculture, pasture, industry and transportation that uses the local land. It is better understood that Geographic Information Systems (GIS) is the most effective, accurate, and fastest tool available for land use planning works, given that it emerged as a result of planning requirement and the most important feature of it is the map overlay method. The purpose of this study is determination of the most suitable areas in terms of settlement and development of suggestions for these areas in the city center and its vicinity of Sivas for forward planning works. In this context, natural landscape elements (land use availability, geology, slope, erosion, aspect, height) related to the area are subject to "Suitability Value Analysis of Natural Potential for Sectoral Use" and "Weighted Overlay" processes developed on the basis of GIS. Suitability maps were created as a result of the analyses. Suitability maps have shown that the most suitable areas for settlement (expressed as degree 2) are located in the southeast part of the study area. It has been suggested that the results obtained from this study should be taken into consideration by the local administrations in the zoning plan revision and in future sectoral planning studies.

**Keywords:** Sivas, Geographic Information Systems (GIS), urban planning, settlement suitability

### 1. GİRİŞ

Nüfus artışına paralel olarak kentsel alanların hızlı bir şekilde büyümesi, birçok çevresel probleme sebep olmaktadır [1]. Günümüz dünyasında çevresel kaynakların bozulmasını önlemek için ekolojik, toplumsal ve ekonomik şartlar gözetilerek sürdürülebilirlik ilkesi temelinde farklı arazi kullanım şekillerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, bugünkü ve gelecekteki toplumun beklentileri belirlenmekte ve bu beklentileri karşılayacak şekilde araziler değerlendirilmektedir [2].

\* Corresponding author. Email address: :cbkarakus@gmail.com

Günümüzde çevre açısından en güç çalışmalardan biri de arazinin ve kaynakların en uygun bir şekilde planlamasına karar vermektir. Mohit ve Ali [3]'ye göre; arazinin kullanımında sürdürülebilirliğin sağlanması için en uygun arazi kullanım tipinin belirlenmesi gerekir [4]. Nüfus artışı ve kentlere göçün artması, kentsel alanlarda yeni yerleşim alanlarının planlanmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Kentsel planlama, kentsel nüfusun artışı ve kentlerin büyümesinden dolayı oldukça önemli bir konudur ve yeni yerleşim alanlarının planlanmasını gerektirir [5].

Arazi kullanım planlaması çalışmalarında bir alana ait doğal peyzaj elemanları bilgisi, arazi kullanım türleri için arazilerin uygunluklarını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Kent çevresindeki arazi kullanım planlaması, gelişmeye yönelik yapılan uygunluk değerlendirmesi için önemli bir kavramdır. Örneğin; topoğrafik özellikler, gelişim için bir alanın uygunluğunu etkileyen en önemli etkenlerden biridir. İyi bir yüzey drenajı ve uygun yerleşim alanlarını sağlamak için % 2-6 arasındaki eğim değerleri yeterli olmaktadır. Yeteri kadar düz olmayan alanlarda, yerleşim alanlarının gelişiminde önemli sorunlarla karşı karşıya kalınabilir [6].

Günümüzde yerleşim alanları genişlerken tarım alanları, sulak alanlar, akarsuların taşkın yatakları, ormanlar ve eğimli yamaçlar düşük kaliteli konutlar tarafından işgal edilen yerleşim alanları haline gelmiştir. Şehirlerin genişlemesi sırasında yapılan yanlış yer seçimi sonucunda tarım arazilerinde üretim kaybı, birtakım çevresel sorunlar ve doğal afetler meydana gelmektedir [7]. Martins ve ark. [8] tarafından belirtildiğine göre; zamanla yerleşim alanlarının yetersiz kalmasıyla eğimli yamaçlar, vadi tabanları, fay hatları çevreleri, tarım alanları, ormanlık alanlar ve sulak alanlar yerleşme baskısına maruz kalmıştır [9].

Yeni yerleşim yerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan planlama çalışmalarında daha çok sosyo-ekonomik ve demografik faktörler değerlendirilmekte, kent varlığının temel unsuru olan doğal çevre bileşenleri ve doğal yapı özellikleri ihmal edilmektedir. Oysa kentleşme süreci üzerine etkili faktörleri; sosyal, kültürel ve tarihi faktörler ile doğal çevre faktörleri olarak iki ayrı grupta incelemek mümkündür [10]. Kentsel planlamada yer seçimini etkileyebilecek en temel kısıtlamalar, jeolojik ve fiziksel kısıtlamalardır. Bu kısıtlamalar, topografya, jeolojik yapı, iklim koşulları, sismoloji, hidrojeolojik özellikler, yapı malzemeleri, zemin kalitesi, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerdir [11]. Yerleşim alanları için en uygun alanların belirlenmesinde CBS, en pratik ve en etkili araç olduğu kanıtlanmıştır [12]. CBS uygulamaları, çoklu katmanların birleştirilmesinde ve mekânsal olarak daha geniş kapsamdaki verilerin yönetilmesinde üstün bir yeteneğe sahiptir [13].

Bu çalışmanın amacı; Sivas kent merkezi ve yakın çevresinde, ileriye yönelik planlama çalışmaları için yerleşim açısından en uygun alanların belirlenmesi ve bu alanlara ilişkin öneriler geliştirilmesidir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, 319000-339000-4389000-4415000 UTM koordinatlarında yer alan Sivas kent merkezi ve yakın civarında yürütülmüştür. Çalışma alanı, Sivas kent merkezi ve yakın çevresini kapsayan 1/25.000 ölçekli i37-b3, i38-a4, i37-c2 ve i38-d1 paftalarını içermekte ve yaklaşık olarak 520 km<sup>2</sup>'lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 1).

Çalışmanın ana materyalini, çalışma alanı ve alana ilişkin doğal peyzaj elemanlarının ortaya konulduğu ve uygunluk analizlerinin yapıldığı 1/25.000 ölçekli sayısal haritalar oluşturmaktadır. Topoğrafik haritalar, toprak haritaları ve jeoloji haritaları 1/25.000 ölçekli ve sayısal olarak sırasıyla 2005 yılında Harita Genel Komutanlığı, 2001 yılında Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve 2005 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından üretilmiştir. Topoğrafik haritalar, çalışma kapsamında eğim,

## KARAKUŞ, CERİT

bakı ve yükseklik haritalarının oluşturulmasında; toprak haritaları, arazi yetenek sınıfları ve erozyon haritalarının oluşturulmasında ve jeoloji haritaları ise, kayaç birimleri haritasının üretilmesinde kullanılmıştır. Çalışmanın diğer materyallerini ise Sivas Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden temin edilen Sivas kenti 1972 yılı Çevre Düzeni Planı ile 1982 yılı Nazım İmar Planı [14] ve uygunluk analizleri aşamasında yapılacak olan puanlamaya esas teşkil edecek literatür ve diğer kaynaklar oluşturmaktadır.

Sivas'ın ilk İmar Ana Planı 1967 yılında İller Bankasınca açılan yarışma ile yaptırılmıştır. 1/20.000 ölçekli Çevre Düzeni Planına uygun olarak 1/5000 ölçekli Nazım İmar Planı ve daha sonra da 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planı yapılarak 14.03.1972 yılında onanmıştır. Kentin göç alarak büyümesi nedeniyle, 3194 sayılı İmar Yasası ile belediyelere kendi imar planlarını yapma ve yaptırma imkânlarına kavuşması sonucunda 1982 yılında belediyenin müracaatı ile İmar ve İskân Bakanlığı'nca imar planı revizyonu ve ilaveleri yaptırılmıştır [15]. 1972 yılı 1/20.000 ölçekli 1 paftadan oluşan Çevre Düzeni Planı ile 1/25.000 ölçekli ve 7 paftadan oluşan 1982 yılı Nazım İmar Planına ait paftaların sayısallaştırılması sonucunda ilgili kent planları karşılaştırıldığında; imar sınırının 2, mücavir alan sınırının ise 15 kat arttırıldığı tespit edilmiştir. Yine iki ayrı yıla ait olan planlar karşılaştırıldığında; imar alanı ve yerleşim alanlarında büyük artışlar olmasına rağmen bu kullanım alanlarının mücavir alan içerisindeki oranlarının 1972 yılı planına göre azaldığı tespit edilmiştir. 1972 yılı Çevre Düzeni Planı'nda yerleşim alanları 13.27 km<sup>2</sup> iken 1982 yılı Nazım İmar Planı'nda yerleşim alanları 76.88 km<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir [16].

Çalışma alanının büyük bir kısmı Sivas kent merkezinin bulunduğu 1250-1300 m arasındaki yükseklik sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanının güneyinde ve kuzeydoğusunda 1500 m'nin üzerinde yükseklik değerleri gözlenmektedir. Sivas kent merkezi ve yakın çevresinin büyük bir kısmı % 0-2 (% 34.36) ve % 2-6 (% 19.63) arasındaki eğim grubu aralığında yer almaktadır. Bakı grupları içerisinde en fazla alanı düz alanlar (% 20.29) oluştururken; doğu (% 12.25) ve batı (% 10.83) bakırlı yamaçlar da çalışma alanında büyük bir yer kaplamaktadır [17]. Çalışma alanının büyük çoğunluğunun çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı (% 35.16), yerleşim alanları için çok uygun olmayan jips (% 18.08) ve alüvyonlardan (% 18.66) oluştuğu görülmektedir [18]. Sivas kent merkezi dikkate alındığında; kentin, temel koşulları ve yerleşim koşulları açısından hiç uygun olmayan alüvyon birimi içerisinde yer almaktadır. Ayrıca jipslerde ana kırık hatları boyunca dolin, düden, yeraltı mağarası gibi karstik yapılar yaygın bir şekilde yer almaktadır [19]. Sivas kent merkezi ve yakın çevresi Türkiye'nin ana aktif faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yaklaşık 80 km kuzeyinde bulunmaktadır [20]. Araştırma alanının büyük kısmı III. (% 15.18), IV. (% 12.96) ve VII. (% 33.73) sınıf arazilerden oluşmaktadır. I. sınıf arazilerin (% 11.66) çoğunlukla Kızılırmak nehri boyunca, II. (% 8.21) ve III. sınıf arazilerin çalışma alanının daha çok kuzeyinde ve IV. sınıf arazilerin ise çalışma alanının daha çok kuzeydoğusunda ve güneydoğusunda yoğunlaşmaktadır. Tarım açısından uygun olmayan VIII. (% 4.36) sınıf araziler ise çalışma alanının güney kısmında bulunmaktadır. Orta derecede erozyon (% 28.72), alanın çoğunlukla kuzey kısmında yoğunlaşırken; şiddetli erozyona (% 25.20) uğramış alanlar ise çalışma alanında dağınık bir yapı göstermiştir. Genellikle Kızılırmak etrafında bulunan alanda ise yok ya da çok az derecede erozyon (% 15.05) olduğu tespit edilmiştir. Sivas kenti ve yakın çevresi yerleşim alanlarının bulunduğu bölge, 1. derece (hiç veya çok az) ve 2. derece (orta) erozyon alanları içerisinde yer almaktadır [21]. Çalışma alanının orta kısmından geçen Kızılırmak nehri ve çalışma alanının güneyinde yer alan ve Kızılırmak nehrine bağlı olan Fadlım ve Tecer ırmakları ile Mısmılırmak, Sivas kenti ve yakın çevresinin önemli yüzey suyu kaynaklarını oluşturmaktadır [17].

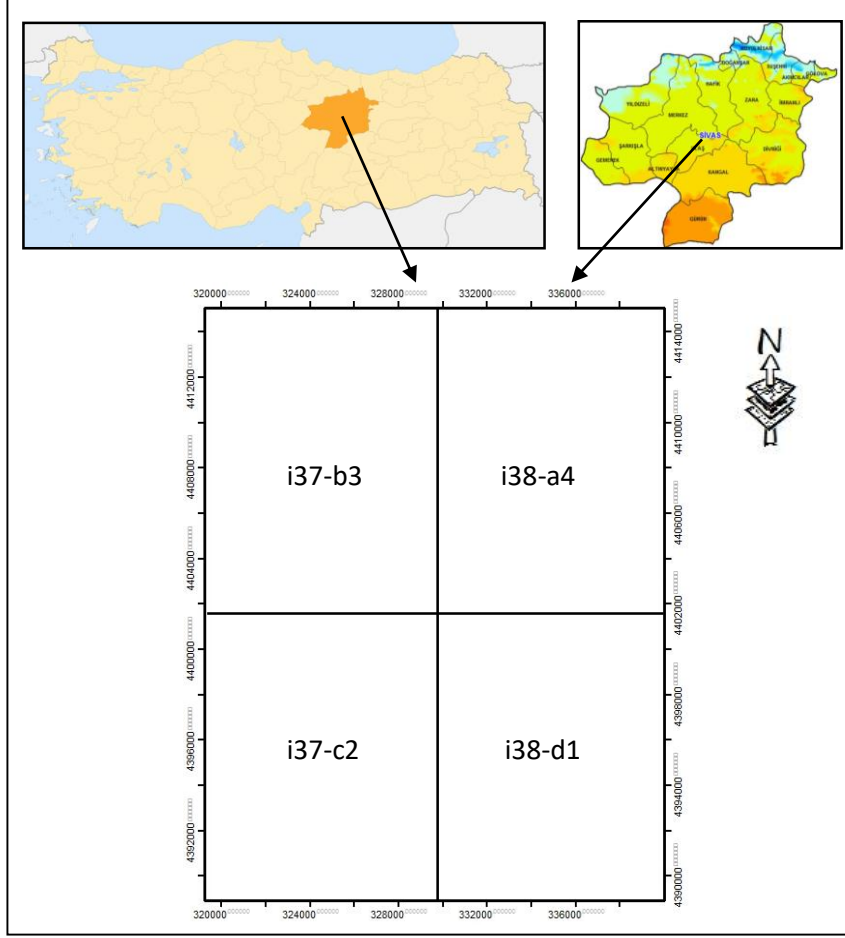
Çalışma 4 aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada yerleşim için uygun alanların belirlenmesini sağlayacak bir yöntem belirlenmiş, ikinci aşamada belirlenmiş olan bu yöntem uygulanmış ve bulgular

elde edilmiş, üçüncü aşamada sonuçlar değerlendirilmiş ve dördüncü aşamada ise ileriye yönelik olarak öneriler geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, yerleşim alanları uygunluğuna ilişkin olarak Mc Harg [22]'in CBS'nin temel mantığını oluşturan “Peyzaj Değerlendirme Yöntemi” ile Kiemstedt [23]'in “Planlamada Kullanım Değeri Analizi Yöntemi”nden yararlanılarak geliştirilmiş bir yöntem olan “Doğal Potansiyelin Sektörel Kullanımlara Uygunluk Değeri Analizi Yöntemi” ele alınmıştır. Yöntemin uygulama aşamasında, yerleşim alanları uygunluğuna ilişkin kriterlerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması işlemi için bir dizi kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bu kriterler uygunluk seviyesine göre sınıflandırılmakta, her birisine bir ağırlık değeri verilmekte ve haritalandırılmaktadır [24]. Bu çalışmada kullanılan haritalar, Sancar [25] tarafından yapılan bir çalışmada ele alınmış olan faktör, alt birim, puan ve ağırlıklara göre alan kullanım potansiyelini belirlemedeki etkinliklerine göre hazırlanmıştır. Mc Harg [22] ve Köseoğlu [26] tarafından belirtildiğine göre; herhangi bir arazi kullanım şeklinin belirlenmesinde ortaya konulan en önemli faktör diğer faktörlerden daha yüksek bir sayısal değer almaktadır. Bu ağırlıklandırma işleminden sonra her bir faktör kendi içerisinde ayrı bir sayısal değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu değerlendirme ise, o faktörün seçilen alt birimlerine yine söz konusu arazi kullanımı bakımından etkinlikleri göz önüne alınarak 1 ile 4 arasında değişen pozitif (+) sayısal değerleri verilerek yapılmıştır [27]. Çalışmada yapılan faktör ağırlıklandırma işlemi, bu kapsamda kaynak olarak kullandığımız literatürlere ve konuyla ilgili akademisyen ve uzman görüşüne göre uygulanmıştır. Bu faktör ağırlıkları ve alt birimler ve o birimlere ait değerler belirlendikten sonra ArcGIS 9.3.1 programının Spatial Analyst modülü kullanılarak oluşturulan tematik haritalar belirlenen doğal faktörler, bunların alt birimleri ve faktör ağırlıklarına göre yeniden sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının doğal yapısına göre yerleşim açısından en uygun alanların saptanması amacıyla ağırlıklı çakıştırma tekniği uygulanmıştır. Ağırlıklı çakıştırma, entegre bir analiz yapabilmek için farklı değerlere sahip, başka bir deyişle farklı birimlerle ifade edilen girdilerin aynı ortamda değerlendirilebilmesi amacıyla uygulanan bir tekniktir. Mekânsal sorunların çözümü, genellikle birçok farklı faktörün analiz edilmesini gerektirmektedir [28]. Daha sonraki aşamada ise; yeniden sınıflandırılmış haritaların, ArcGIS 9.3.1 programının “Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay)” modülü kullanılarak ağırlıklı çakıştırması yapılmıştır. Ağırlıklı çakıştırma sonucunda 4 sınıfa ayrılan ilgili arazi kullanımına ilişkin uygunluk haritaları oluşturulmuştur [29]. Son aşamada, elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve ileriye yönelik olarak öneriler geliştirilmiştir.

Temin edilen verilerden çalışma alanının doğal peyzaj özelliklerini yansıtan tematik haritaların elde edilmesi ve yerleşime uygunluk analizi aşamalarında CBS yazılımı olan ArcGIS 9.3.1 programı kullanılmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak gerekli analizlerin yapılabilmesi için sayısal olarak temin edilmiş olan tüm veriler aynı koordinat sistemine (UTM/WGS84) dönüştürülmüştür.

# KARAKUŞ, CERİT



Şekil 1. Çalışma alanı yer buldur haritası ve çalışma alanı sınırı pafta indeksi

## 3. BULGULAR

### 3.1. Yerleşim alan seçimini etkileyen doğal faktörlerin belirlenmesi ve puanlandırılması

Yerleşim alanlarının uygunluğuna etki eden doğal faktörler, bu konuyla ilgili daha önceki çalışmaların ve konuya ilişkin literatürlerin [24,25,27]. değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Puanlandırma, yöntem kısmında belirtilen literatür bilgileri doğrultusunda konuyla ilgili uzmanların görüşleri alınarak yapılmıştır.

## Coğrafi Bilgi Sistemi

**Tablo 1.** Yerleşim alanlarını belirleyici olabilecek doğal faktörler, değişkenler ve puanlamaları.

<b>Faktörler</b>	<b>Değişkenler/alt birimler</b>	<b>Puanlama</b>	<b>Alan (km<sup>2</sup>)</b>
<b>Arazi Yetenek Sınıfları</b>	VIII. SINIF	4	22, 68
	VII. SINIF	3	175, 37
	VI. SINIF	2	62, 70
	IV. SINIF	1	67,39
	V. SINIF	0	-
	III. SINIF	0	78,92
	II. SINIF	0	42,71
	I. SINIF	0	60,61
	VERİ YOK	0	9,58
<b>Kayaçlar</b>	A (SORUNSUZ)	4	93,13
	B (AZ SORUNLU)	3	229,81
	C (SORUNLU)	2	6,01
	D (AŞIRI SORUNLU)	1	191,26
<b>Eğim</b>	%0-2	4	280,91
	%2-6	4	
	%6-12	3	80,67
	%12-20	2	63,66
	%20-30	1	44,22
	%>30	0	50,81
<b>Erozyon</b>	YOK YADA AZ	4	78, 27
	ORTA	3	149, 32
	ŞİDDETLİ	2	131, 03
	ÇOK ŞİDDETLİ	1	129, 09
	VERİ YOK	0	32, 26
<b>Bakı</b>	Güneybatı-Güney-Güneydoğu-Düz	4	253,54
	Batı-Doğu	3	120,09
	Kuzeybatı-Kuzeydoğu	2	101,32
	Kuzey	1	45,31
<b>Yükseklik</b>	1250 m-1300 m	4	91,68
	1300 m-1350 m	3	69,31
	1350 m-1400 m	2	54,25
	1400 m-1550 m	1	150,64
	1550 m-1700 m	0	154,54

### 3.2. Uygunluk Temel Verilerinin/Haritalarının Oluşturulması

Yerleşim alanları uygunluğuna ilişkin haritalar hazırlanırken belirleyici olabilecek doğal faktörler, bunların faktör ağırlıkları, alt birimler ve alt birimlere verilen sayısal değerler; Ortaçeşme [30], Yıldırım [31] ve Yılmaz [32] tarafından yapılan çalışmalara ve uzman görüşlerine başvurularak belirlenmiştir. Bu bilgiler çerçevesinde çalışma alanına ait doğal faktörler, yerleşim alanları uygunluğu kapsamında aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir.

#### *Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfları (AKK) Açısından Uygunluk*

Yerleşim alanlarının belirlenmesinde en önemli faktör “Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfları” olduğundan, AKK sınıfı faktörünün faktör ağırlığı seçilen diğer doğal faktörlerden daha yüksek bir sayısal değer almaktadır. Yerleşim alanları için uygunluk taşıyan topraklar, üretim yeteneği yüksek olan tarım arazileri dışındaki arazilerdir. Şekil 2a ve Tablo 1 incelendiğinde; yerleşime uygun alanlar için AKK sınıfları değerlendirilirken “4” sayısal değerini alan VIII. sınıf araziler yerleşime en uygun alanlar olup, bu araziler çalışma alanında 22,68 km<sup>2</sup> ile en az alansal değere sahiptir ve çalışma alanının daha çok güneyinde yer almaktadır. Şu an Sivas kent merkezinin bulunduğu alan ise, “1” sayısal değerini alan IV. sınıf arazide yer almaktadır. Yerleşime uygun olmayan alanlar için AKK sınıfları değerlendirilirken; “0” sayısal değerini alan alanlar (I, II, III, ve V. sınıf araziler) yerleşime uygun olmayan alanlar olup, bu alanlar daha çok Sivas kent merkezi yakın çevresi ile çalışma alanının kuzeyinde yoğunlaşmakta ve 249,63 km<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Şekil 2a ve Şekil 2c birlikte değerlendirildiğinde; çalışma alanının güneyinde yer alan VIII. sınıf arazilerin daha çok eğimi yüksek olan fazla engebeli arazilerde yer aldığı görülmektedir. Yerleşime uygun alanların belirlenmesinde VIII. sınıf araziler en uygun arazi sınıfını teşkil etmekte, yerleşime uygunluk açısından çalışma alanımızın güneyindeki VIII. sınıf araziler eğim faktörüyle birlikte değerlendirildiğinde bu alanların eğim kriteri açısından yerleşim için uygun alanlar sınıfına dahil olmayacağı açıkça görülmektedir.

#### *Jeolojik Açısından Uygunluk*

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik [33], temel alınarak jeolojik formasyon verisi genelleştirilerek zemin grupları Tablo 2’deki gibi oluşturulmuştur. Bu genellemeye göre formasyonlar; litoloji, yaş, oluşum ortamı ve zemin öz nitelikleri açısından değerlendirilerek Sivas kenti ve yakın çevresi için jeoloji formasyonu 4 farklı grupta sınıflandırılmıştır.

**Tablo 2.** Çalışma alanı sınıflandırılmış litoloji birimleri.

Sınıfı	Jeolojik Formasyon	Değeri	Alanı (km <sup>2</sup> )	% Dağılım
A (Sorunsuz)	Kireçtaşı	4	93, 13	17,91
B (Az sorunlu)	Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı Kumtaşı-Çamurtaşı Volkanit-Çökelkaya Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı Bazalt-Piroklastik kaya	3	229, 81	44,19
C (Sorunlu)	Traverten Yamaç Molozu-Birikinti Konisi	2	6, 01	1,15
D (Aşırı Sorunlu)	Alüvyon Jips	1	191, 02	36,73



Şekil 2b ve Tablo 2 incelendiğinde; çalışma alanında en fazla alanı, yerleşim alanları için jeolojik açıdan az sorunlu ve B sınıfına (Çakıldaş-Kumtaşı-Çamurtaşı, Kumtaşı- Çamurtaşı, Volkanit-Çökelkaya, Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı, Bazalt-Piroklastik Kaya) dahil olan alanların (“3” sayısal değeri ile) ağırlıkta olduğu görülmektedir. B sınıfına dahil olan alanlar, çalışma alanının daha çok güneydoğusu ile kuzeydoğusunda yer almaktadır. D sınıfına (Alüvyon, Jips) dahil edilen (“1” sayısal değeri ile) jeolojik açıdan yerleşim alanları için aşırı sorunlu olan alanlar; Sivas kent merkezini de içerisine alan, çalışma alanının güneybatısından kuzeydoğusuna kadar olan bir bölgede yer almaktadır. C sınıfına (Traverten, Yamaç Molozu- Birikinti Konisi) dahil edilen (“2” sayısal değeri ile) jeolojik açıdan yerleşim alanları için sorunlu olan alanlar ise araştırma alanında en az alansal değere sahiptir. Çalışma alanında jeolojik açıdan A sınıfına (Kireçtaşı) dahil edilen sorunsuz alanlar çalışma alanının kuzeybatısında yer almaktadır.

### ***Eğim Açısından Uygunluk***

Eğimi % 0-6 arasında olan alanlar (“4” sayısal değeri ile) yerleşime en uygun alanlar olup, bu alanların daha çok Sivas kent merkezi ve yakın çevresi ile çalışma alanının kuzeybatısında yer aldığı ve en fazla alansal değere (280,91 km<sup>2</sup>) sahip olduğu görülmektedir. Yerleşim alanları açısından uygun olmayan ve eğimi % 30’un üzerinde olan alanların (“0” sayısal değeri ile), çalışma alanında en az alansal değere (50,81 km<sup>2</sup>) sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2c ve Tablo 1).

### ***Erozyon Açısından Uygunluk***

Erozyonun olmadığı veya çok az olduğu alanlar (“4” sayısal değeri ile) yerleşime en uygun alanlar olup bu alanlar daha çok Sivas kent merkezinin güneyinde, güneybatısında, doğusunda ve Kızılırmak nehri kıyılarında yer almaktadır. Çalışma alanında çok şiddetli erozyona sahip alanlar (“1” sayısal değeri ile) ise çalışma alanında dağınık bir yapı gösterirken, Sivas kent merkezinin de çok şiddetli erozyona sahip alanlar içerisinde yer aldığı görülmektedir. Çalışma alanında orta derecede erozyona uğramış alanlar (“3” sayısal değeri ile) en yüksek alansal değere sahip olup, bu alanlar çalışma alanının daha çok kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 2d ve Tablo 1).

### ***Bakı Açısından Uygunluk***

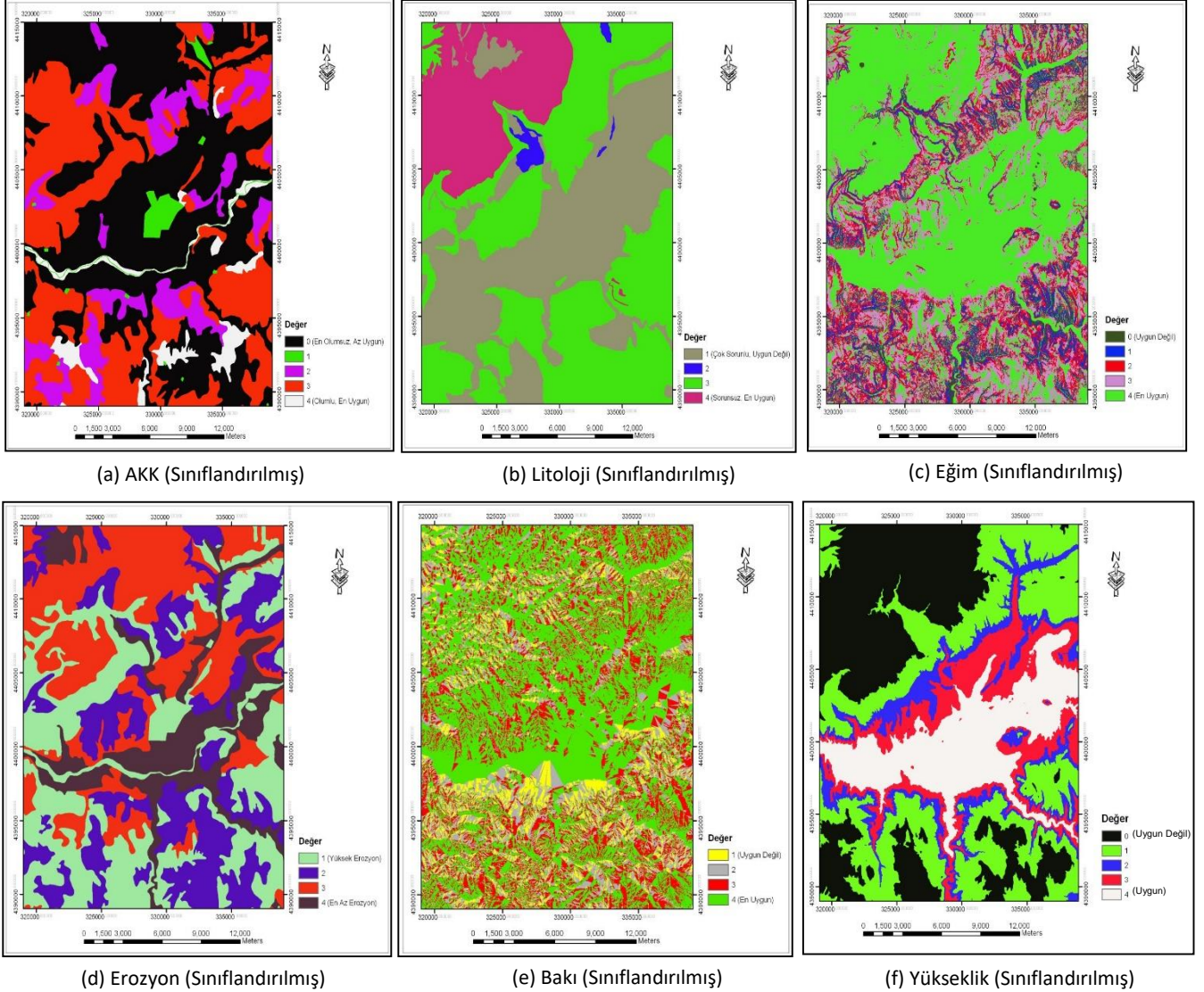
Yamaçların gün boyu daha az ya da daha fazla güneş ışığı almasına neden olan bakı faktörü, konut alanlarına ilişkin yer seçimlerinde de göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Ülkemizde genel olarak S, SE, SW ve W bakıları daha çok güneş aldığı için daha sıcaktır. Kuzey, kuzeydoğu, kuzeybatı ve doğu bakıları daha az ışık aldığı için gölgelidir ve daha serin bakılardır. Toplumun tükenbilir enerjiye bağımlılığının azalması, güneş enerjisi, doğal havalanma koşullarından, kısaca doğadan maksimum ölçüde yararlanması için iklimle uyumlu yer seçimi önemlidir. Kuzey yamaçlar, ışınım düzeyi düşük olduğundan tercih edilmezler. Ilıman iklimde güneydoğu-doğu yamaçların üst kısımları iklimle uyumlu yerleşim için uygun olan yerlerdir [27]. Şekil 2e ve Tablo 1 incelendiğinde; yerleşim alanları için en uygun bakılar olan güneybatı, güney, güneydoğu, Düz (“4” sayısal değeri ile) bakıları çalışma alanında en yüksek alansal değere (253,54 km<sup>2</sup>) sahiptir ve bu bakılar daha çok kent merkezi yakın çevresinde ve çalışma alanının kuzeyinde yoğunlaşmaktadır. Çalışma alanında en az alansal değere sahip bakı ise kuzey bakısıdır (“1” sayısal değeri ile).

### ***Yükseklik Açısından Uygunluk***

Arazinin düz, girintili-çukuntulu, eğimli, alçak veya yüksek olması yerleşim alanlarının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bir yerleşim alanının ışık ve sıcaklık iklim parametresi üzerinde bu faktörler etkin bir rol oynamaktadır. Şekil 2f ve Tablo 1 incelendiğinde; Sivas kenti ve yakın çevresi yerleşim alanları

## KARAKUŞ, CERİT

için en uygun yükseklik aralığı olan 1250-1300 m yükseklik değerleri (“4” sayısal değeri ile) çalışma alanında 91,68 km<sup>2</sup>’lik bir alana sahiptir ve bu yükseklik değerleri daha çok kent merkezi ve yakın çevresinde görülmektedir. Çalışma alanında yerleşim alanları için hiç uygun olmayan yükseklik aralığı olan 1550-1700 m yükseklik değerleri (“0” sayısal değeri ile), genellikle çalışma alanının güneyinde ve kuzeybatısında görülmekte ve 154,54 km<sup>2</sup>’lik bir alansal değerle çalışma alanında en fazla yeri oluşturmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı doğal potansiyel özelliklerinin yeniden sınıflandırılmış haritaları.

### 3. YERLEŞİME UYGUN ALANLARIN BELİRLENMESİ

Çalışma alanındaki yerleşime uygun alanların belirlenmesinde etkili olan doğal faktörlerin yeniden sınıflandırılmasıyla oluşturulan tematik haritalar (Şekil 2), ArcGIS 9.3.1 programının “Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay)” modülü yardımıyla, Tablo 3’de verilen farklı doğal faktörlerin faktör ağırlıklarına göre birlikte değerlendirilmesiyle ağırlıklı olarak çakıştırılmıştır. Yerleşim alanları kullanımına ilişkin olarak; ağırlıklı çakıştırma sonucunda 4 dereceli uygunluk haritaları (Şekil 3) oluşturulmuş ve yerleşim alanları kullanımına uygun alanların dağılımı belirlenmiştir (Tablo 3).

## Coğrafi Bilgi Sistemi

**Tablo 3.** Yerleşime uygun alanlar için seçilen doğal faktörler ve faktör ağırlıkları.

Yerleşim alanları için uygunluklar	Seçilen Doğal Faktörler	Faktör Ağırlıkları	Yerleşim Alanı Uygunluk Sınıflandırmalarının Kapladığı Alanlar (km <sup>2</sup> ) ve % Dağılımları				
			1.Derece	2.Derece	3.Derece	4.Derece	Uygun Olmayan
Yerleşime Uygunluk 1	Jeoloji	% 35	65.95 (% 13.41)	235.21 (%45.28)	173.42 (%33.38)	25.94 (% 4.99)	15.25 (%2.94)
	Eğim	% 35					
	Erozyon	% 30					
Yerleşime Uygunluk 2	Jeoloji	% 35	64.84 (% 12.48)	267.31 (%51.46)	155.21 (%29.88)	16.87 (% 3.25)	15.25 (%2.94)
	Eğim	% 35					
	Erozyon	% 20					
	Bakı	% 10					
Yerleşime Uygunluk 3	Jeoloji	% 30	2.19 (% 0.42)	183.90 (% 35.40)	151.93 (%29.25)	14.37 (% 2.77)	167.10 (%32.17)
	Eğim	% 30					
	Erozyon	% 20					
	Bakı	% 10					
	Yükseklik	% 10					
Yerleşime Uygunluk 4	Akk	% 30	2.00 (% 0.38)	65.27 (% 12.56)	139.54 (%26.85)	0.40 (% 0.08)	312.47 (% 60.13)
	Jeoloji	% 20					
	Eğim	% 20					
	Erozyon	% 20					
	Bakı	% 10					
Yerleşime Uygunluk 5	Akk	% 25	-	54.40 (% 10.47)	125.77 (%24.21)	0.84 (% 0.16)	338.47 (% 65.16)
	Jeoloji	% 20					
	Eğim	% 20					
	Erozyon	% 15					
	Bakı	% 10					
	Yükseklik	% 10					

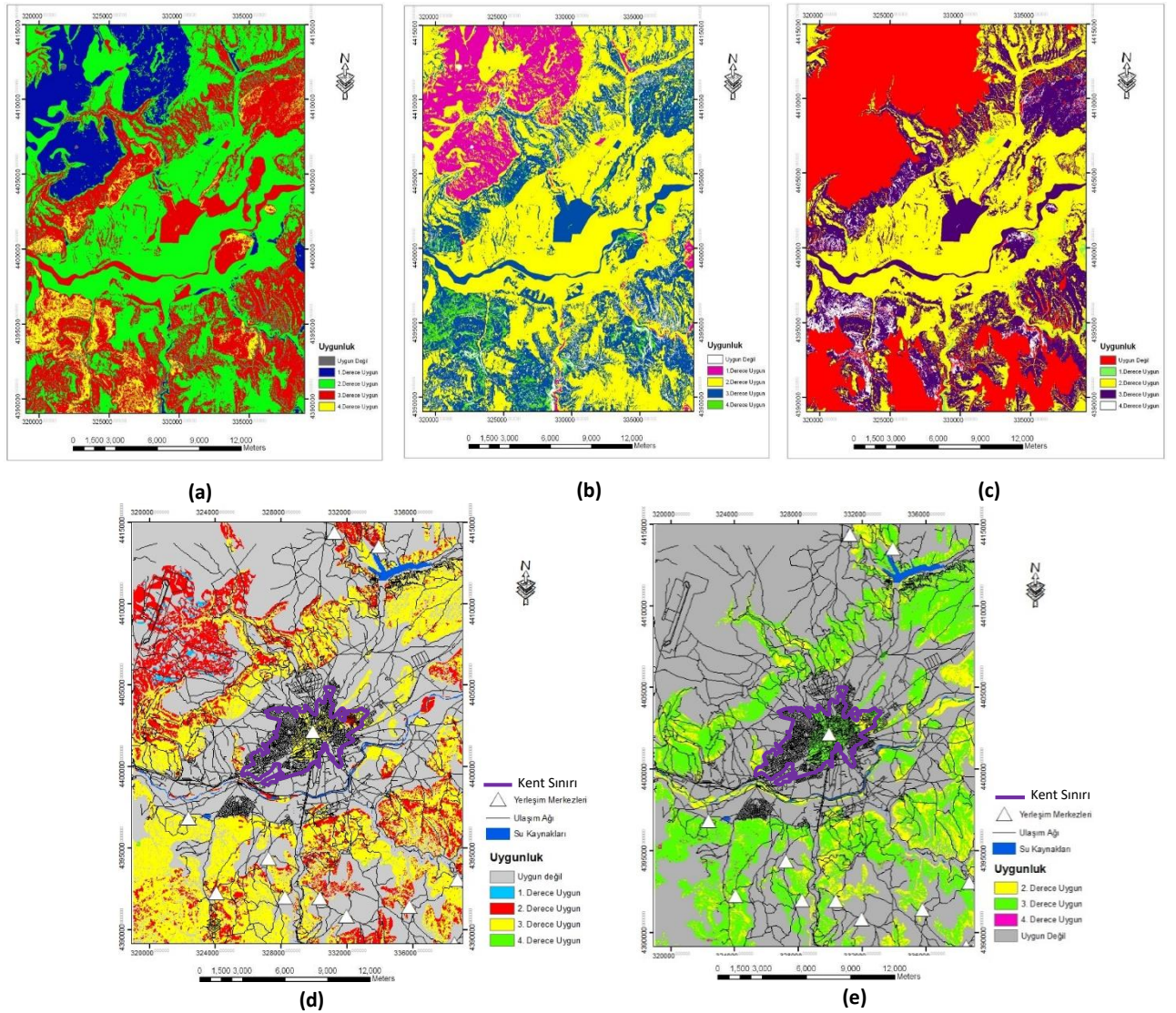
Ağırlıklı çakıştırma sonucunda elde edilen 4 dereceli yerleşime uygunluk haritalarında, yerleşime en uygun alanların “1. Derece Uygun” terimi ile gösterilen alanlar olduğu belirtilmiştir. Jeoloji (litoloji), eğim ve erozyon faktörleri birlikte değerlendirilerek elde edilen yerleşime uygunluk haritası (Şekil 3a) incelendiğinde; yerleşime 1. derecede uygun alanların çalışma alanının kuzeybatısında yoğunlaştığı görülmüştür. Sivas kenti ve yakın çevresi dikkate alındığında; kent merkezinin bulunduğu bölge 3. derece yerleşime uygun alanlar içerisinde yer alırken, kent merkezi yakın çevresinin 2. derece yerleşime uygun alanlar içerisinde yer aldığı görülmüştür. Jeoloji (litoloji), eğim, erozyon ve bakı faktörleri birlikte değerlendirilerek elde edilen yerleşime uygunluk haritası (Şekil 3b) incelendiğinde; Sivas kent merkezi yakın çevresinin Şekil 3a’ya benzer şekilde 2. derece yerleşime uygun alanlar sınıfında olduğu görülürken, 1. derecede yerleşime uygun alanların yine çalışma alanının kuzeybatısında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Şekil 3a ve Şekil 3b karşılaştırıldığında; bakı faktörünün jeoloji, eğim ve erozyonla birlikte değerlendirilmeye alınmasıyla yerleşime 1. derecede uygun alanların (% 12.48), jeoloji, eğim ve erozyon faktörleri kullanılarak elde edilen yerleşime 1. derecede uygun alanlardan (% 13.41) daha az alan kapladığı görülmüştür. Bakı faktörü değerlendirmeye dahil edildiğinde; 1. derecede yerleşime uygun alanlar azalırken, 2. derecede yerleşime uygun alanlarda artış gözlenmiştir. Yerleşime uygun alanların belirlenmesinde kuzey yönlü yamaçların fazla olduğu alanlar yerleşim açısından uygun alanlar olmayıp, bu alanlar 1. derece yerleşime uygun alanların azalmasına etki eden önemli bir faktör olmuştur. Jeoloji, eğim, erozyon ve bakı faktörlerine yükseklik faktörü eklenmesiyle oluşturulan yerleşim uygunluk haritasına (Şekil 3c) göre; çalışma alanında 1. derecede yerleşime uygun alanların miktarında büyük bir azalma görülürken, yerleşime uygun olmayan alanlarda büyük bir artış gözlenmiştir. Sivas kenti yakın çevresi yine 2. derece yerleşime uygun alanlar sınıfında yer alırken, 2. derece yerleşim alanlarında da



## KARAKUŞ, CERİT

azalma görülmüştür. Yükseklik faktörünün değerlendirilmeye alınmasıyla çalışma alanının kuzeybatısında ve güneyinde, yerleşim açısından uygun olmayan alanlar göze çarpmaktadır (Şekil 3c).

AKK, jeoloji (litoloji), eğim, erozyon ve bakı faktörleri birlikte değerlendirilerek elde edilen yerleşime uygunluk haritası (Şekil 3d) incelendiğinde; yerleşime 1. ve 2. derecede uygun olan alanların, genellikle çalışma alanının kuzey batısında yoğunlaştığı görülmektedir. Yerleşime uygun olmayan alanların ise, daha çok kent merkezi yakın çevresinde ve çalışma alanının kuzeyinde yoğunlaştığı görülmektedir ve çalışma alanında yerleşime uygun olmayan alanların en fazla alan kapladığı görülmektedir. Sivas kent merkezinin ise, 3. derece yerleşime uygun olan alanlar içerisinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 3d). Son olarak AKK, jeoloji (litoloji), eğim, erozyon, bakı ve yükseklik faktörleri birlikte değerlendirilerek elde edilen yerleşime uygunluk haritası (Şekil 3e) incelendiğinde; çalışma alanında yerleşime 1. derecede uygun alanların olmadığı görülmüştür. 2. derecede yerleşime uygun alanların daha çok çalışma alanının güneydoğusunda yer aldığı belirlenmiştir. Sivas kenti yakın çevresi ve alanın genelinde, yerleşime uygun olmayan alanların fazlalığı (% 65.16) göze çarpmaktadır (Tablo 3). Şekil 3a ve Şekil 3e’de varılan sonuçlar karşılaştırıldığında; jeoloji, eğim, erozyon faktörlerine AKK, bakı ve yükseklik faktörleri eklendiği zaman yerleşime uygun olmayan alanların miktarında büyük bir artış olduğu gözlenmektedir (Tablo 3).



Şekil 3. Ağırlıklı çakıştırma sonucunda oluşturulan 4 dereceli yerleşime uygunluk haritaları.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma, CBS kullanılarak Sivas kent merkezi ve yakın çevresi için yerleşim alanları açısından en uygun alanları ortaya koymuştur. Çalışma alanında jeoloji (litoloji), eğim ve erozyon faktörleri birlikte değerlendirildiği zaman yerleşime en uygun alanların (1. derece uygun) çalışma alanının kuzeybatısında yoğunlaştığı belirlenmiştir. AKK, jeoloji (litoloji), eğim, erozyon, bakı ve yükseklik faktörleri birlikte değerlendirildiği zaman yerleşime 1. derecede uygun alanların varlığı tespit edilememiş ve AKK, bakı ve yükseklik faktörleri değerlendirmeye dahil edildiği zaman yerleşime uygun olmayan alanların miktarında artış görülmüştür. Sivas kenti yakın çevresindeki yerleşime uygun alanlar için AKK, bakı ve yükseklik faktörleri negatif etkide bulunan faktörler olarak göze çarpmıştır.

Çalışma alanı için bütün faktörler göz önüne alınarak yapılan değerlendirme sonucunda; çalışma alanında yerleşime uygunluk açısından 1. derecede uygun alanlar olmamakla birlikte (Şekil 3e) yerleşime en uygun alanların (2. derece) çalışma alanının daha çok güneydoğusunda yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Yerleşime uygun olmayan alanların daha çok kent merkezi yakın çevresinde ve çalışma alanının kuzeybatısında yoğunlaştığı ve Sivas kent merkezi yerleşkesinin de yine 3. derece yerleşime uygun alanlar sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Tarım açısından önemli olan arazilerin varlığı ve daha yüksek kotlardaki alanların fazla olması, yerleşime uygunluğu olumsuz etkileyen faktörler olup, bu da yerleşime uygun olmayan artışın temel nedenini oluşturmuştur.

Erozyon faktörü dikkate alınarak yerleşim alanları için risk taşıyan bölgeler belirlenmiştir. Özellikle mevcut durumdaki Sivas kenti yerleşim alanının 4. derecede erozyon (çok şiddetli) riskine sahip alanlar olduğu vurgulanmıştır. Yerleşim alanları için jeolojik açıdan uygun olan ve uygun olmayan zeminler belirlenmiş, mevcut durumdaki Sivas kenti yerleşim alanının jeolojik açıdan uygun olmayan zeminler (alüvyon ve jips) üzerine inşa edildiği sonucuna varılmıştır.

Yerleşim alanları uygunluğuna ilişkin olarak daha önce yapılan çalışmalarda [34,35,36,37] dikkate alınan faktörler ve kriterler, çalışma alanının genel peyzaj özellikleri göz önüne alındığında bu çalışmada da analiz aşamasında belirleyici parametreler olmuştur. Daha önceki çalışmalarda ele alınmış olan bazı faktör ve kriterler (fay hattına uzaklık vs.) bu çalışmada analiz aşamasında kullanılmamıştır. Bunun nedeni ise; çalışma alanının, Türkiye'nin ana aktif faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun yaklaşık 80 km kuzeyinde bulunan Sivas Tersiyer Havzası'nın kuzey kenarında yer almasından dolayı yerleşime uygun alanların belirlenmesinde önemli faktörlerden birisi olan ana fay hattına uzaklık için herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır.

Hedef yılı 2000 yılı olarak ve 500.000 nüfus için hazırlanan 1982 yılı nazım imar planında; kentin gelişme alanları kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinde planlanmıştır [38]. 2000 yılı genel nüfus sayımı sonuçlarına göre Sivas kent nüfusu 251.776 olarak göz önüne alındığında, kentin gelecek ile ilgili nüfus kestiriminin iki katı büyüklükte yaşayabileceği kentsel gelişim alanları oluşturulmuştur. Bu alanlar ise nitelikli tarım alanları üzerinde planlanmıştır [16]. Ayrıca bu çalışma sonucuna göre oluşturulan yerleşime uygunluk alanlarında (Şekil 3e), tarımsal aktivitelerin yapıldığı gözlemlenmekte olup bu tür olumsuzlukları önlemek için ileride yerleşim için kullanılması gereken alanların (2. derece) daha çok kentin güneydoğusunda yer alan alanların seçilmesi gerekmektedir. Sivas Belediyesi'nden alınan bilgiler ve Sivas kentindeki yapılaşmaya yönelik çalışmalar dikkate alındığında; kentin gelişme yönünün çalışma alanının kuzeydoğu ve güneydoğu yönlerinde olduğu belirlenmiştir. Kentin gelişiminin özellikle çalışma alanının güneydoğu yönünde ilerlemesi bu çalışmanın sonuçlarını destekler niteliktedir.

## KARAKUŞ, CERİT

Bu çalışmada elde edilen sınıflandırılmış tematik haritalar ve oluşturulan uygunluk haritalarının, Sivas kentinde gelecekte yerleşime açılacak alanlar ve bu çalışmaya benzer yapılacak olan arazi kullanım planlaması çalışmaları için karar vericilere referans olabilmesi açısından oldukça önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir. Yerel yönetimlerin kontrolünde yukarıda belirtilen yönde gerçekleştirilen kentsel yapılaşma çalışmaları, doğal ekosisteme ve su kaynaklarına zarar vermeden ilgili yönetmelikler çerçevesinde uygulanmalıdır. Kentin gelişme yönü doğrultusunda; Sivas kent merkezine çok yakın olan Kızılırmak nehrinin kıyı kenar çizgisinden ilgili yönetmelikler çerçevesinde belirli bir mesafe içerisinde yapılaşmaya izin verilmemelidir. Yerel yönetimlerin, imar planı revizyonu ve ileride yapılması düşünülen sektörel planlama çalışmalarında imar sınırı ve mücavir alan sınırı içerisindeki alanların doğal peyzaj özelliklerini ve bu peyzaj özelliklerine göre belirlenen yerleşilebilir alanları dikkate alarak bu tür planlama çalışmalarını yapması gerekmektedir. Sonuç olarak; kentin doğal peyzaj özellikleri mekansal kullanım kararları ve ilgili yönetmelikler çerçevesinde CBS yardımıyla detaylı bir şekilde analiz edilmeli ve sürdürülebilir kalkınma temelinde ilgili sektörlerle ait alan kullanım kararları ortaya konulmalıdır.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından desteklenmiş olan M-324 no'lu "Sivas ve Yakın Yöresi Arazi Kullanımı Ve Çevre Yönetimi Planlaması" konulu proje kapsamında yapılmıştır.

### KAYNAKLAR

- [1]. Ju, C.Y., Jia, Y.G., Shan, H.X., Tang, C.W. and Ma, W.J., GIS-based coastal area suitability assessment of geo-environmental factors in Laoshan district, Qingdao, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2012, 12, 143–150.
- [2]. Karakuş, C. B., Sivas ve yakın yöresi arazi kullanımı ve çevre yönetimi planlaması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2009, 116s.
- [3]. Mohit, A.M., Ali, M.M., Integrating GIS and AHP for land suitability analysis for urban development in a secondary city of Bangladesh. Jurnal Alam Bina, 2006, Jilid 8, (1), 1-19.
- [4]. Akbulak, C., Analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile Yukarı Kara Menderes Havzası'nın arazi kullanımı uygunluk analizi, Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, 2010, 7 (2).
- [5]. Erol, G., Topal, T., GIS-based microzonation of the Niksar settlement area for the purpose of urban planning (Tokat, Turkey), Environ Earth Sci., 2013, 68:2065–2084.
- [6]. Lillesand, T., Kiefer, R., Remote Sensing And Image Interpretation, Third Edition, John Wiley&Sons, Inc., New York, USA, 1994, 750s.
- [7]. Aksu, R., Değerliyurt, M., Sürdürülebilir kentsel gelişim sağlamak amacıyla model yerleşim alanları planlama: Diyarbakır kenti örneği, "VIII. TÜCAUM Coğrafya Sempozyumu ", 2014.
- [8]. Martins, V. N., Cabral, P., Sousa Silva, D., Urban modelling for seismic prone areas: the case study of Vila Franca do Campo (Azores Archipelago, Portugal), Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2012, 12, 2731–2741.
- [9]. Değerliyurt, M., Çabuk, S.N., Aksu, R., Sürdürülebilir kentsel gelişim için yerleşime uygun alanların belirlenmesi: İskenderun kenti örneği, Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 4-6 Haziran 2014.
- [10]. Küçükali, U.F., Yer seçimi sürecinde yeni yerleşim alanları üretiminin doğal yapı ve planlar ile ilişkisinin yeniden düşünülmesi - Küçükçekmece İlçesi - Atakent Mahallesi örneği, Planlama, 2015; 25(3): 212–226
- [11]. Kurnaz, T.F., Ramazanoğlu, Ş., Yerleşime uygunluğun Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile

- sorgulanması, Esenler (İstanbul) örneği, SAÜ. Fen Bil. Der., 2014, 18 (3), 189-200.
- [12].Baban, S.M.J., Canisius, D.T.F., Sant, K.J., Managing development in the hillsides of Trinidad and Tobago using geoinformatics, Sustainable Development, 2007, 16 (5), 314-328.
- [13].Kolat, Ç., Geographical information systems based microzonation map of Eskişehir downtown area, Master's Thesis, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004, 94p.
- [14].Sivas Belediyesi, Sivas kenti 1972 Yılı Çevre Düzeni Planı, 1982 Yılı Nazım İmar Planı, Sivas Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Arşivi, 2009, Sivas.
- [15].Sivas Valiliği, Sivas 2023 Stratejik İl Gelişme Planı. T.C Sivas Valiliği, İl Sosyal ve Ekonomik Planlama Merkezi, 2006, Sivas.
- [16].Demiroğlu, D., Karakuş, C.B., Geçmişten günümüze Sivas kent planlarının alan kullanımları yönünden karşılaştırılması, İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 2012, 2(4), 1-13.
- [17].HGK, Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik harita, Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Komutanlığı, 2005, Ankara.
- [18].MTA, Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal jeoloji haritası, Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 2005, Ankara.
- [19].MTA, Sivas Kentinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Genel Müdürlüğü Orta Anadolu 1. Bölge Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, 1997, Sivas, 168s.
- [20].Karacan, E., Sivas güneydoğusundaki jipslerin jeo-mühendislik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1989, Ankara, 99s.
- [21].KHGM, Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli sayısal toprak haritası, T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2001, Ankara.
- [22].Mc Harg, I, Design with Nature, Natural History Pres, 1969, Garden City, New York, USA.
- [23].Kiemstedt, H., Natürliche Beeinträchtigungen als Entscheidungsfaktoren für die Planung in Landschaft and Stadt, 1972, H.2, 80-85 (Çeviri: Köseoğlu, M., 1982, Peyzaj Değerlendirme Yöntemleri, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları).
- [24].Chen, Y., Yu, J., Shahbaz, K., Xevi, E., GIS-based sensitivity analysis of multi-criteria weights, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, 2009, Australia.
- [25].Sancar, C., Kentsel gelişim alanlarının saptanması ve planlanmasında CBS ve ekoloji-ekonomi duyarlı planlama modeli, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000, Trabzon.
- [26].Köseoğlu, M., Peyzaj Değerlendirme Yöntemleri, E.Ü.Z.F. Yayınları, İzmir, 1982, No: 430, 138s.
- [27].Çelikyay, S., Arazi kullanımlarının ekolojik eşik analizi ile belirlenmesi: Bartın örneğinde bir deneme, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul, 2005, 218s.
- [28].Çabuk, S., Coğrafi Bilgi Sistemleri destekli stratejik çevresel değerlendirme çalışması: Eskişehir kenti için toplu konut alanı yer seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2006, 182s.
- [29].Çabuk, A., A proposal for a method to establish natural-hazard-based land use planning: the Adapazarı case study, Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci), Turkish Scientific and Technical Research Council (TÜBİTAK), Marmara Research Centre, Information Technologies Research Institute, Gebze, Kocaeli-TURKEY, 2001, 10, s.143-152.
- [30].Ortaçşeme, V., Adana ili Akdeniz kıyı kesiminin ekolojik peyzaj planlama ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmesi ve optimal alan kullanım önerileri. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996, Adana.
- [31].Yıldırım, H., Dönertaş, A., Alparslan, E., Aydoğan, C., Elitaş, S., Yüce, H., Kafarov, R., Divan, J., Erkan, B., Özel, M., Dağcı, M., Öztürk, Y., Bolu ili Coğrafi Bilgi Sistemi (BCBS) temel katmanlarının kurulması ve yerleşime uygunluk belirlemesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Proje kodu: 5017605, 2002, Gebze-Kocaeli.

- [32].Yılmaz, E., Bir arazi kullanım planlaması modeli: Cehennemdere Vadisi Örneği. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Dogu Akdeniz Ormancılık Arastırma Enstitüsü, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın no: 253, 2005, Tarsus.
- [33].Anonim, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1997, 02.09.1997 tarih ve 23098 sayılı Resmi Gazete.
- [34].Demiroğlu, D., Sivas kent planlarının kentin peyzaj özelliklerine uygunluğunun araştırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Ankara, 2010, 241s.
- [35].Rusdi, M., Roosli, R., Ahamad, M.S.S., Land evaluation suitability for settlement based on soil permeability, topography and geology ten years after tsunami in Banda Aceh, Indonesia, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2015, 18(2), 207–215.
- [36].Alparslan, E., İnce, F., Erkan, B., Aydoğan, C., Özen, H., Dönertaş, A., Ergintav, S., Yağsan, F.S., Zateroğulları, A., Eroğlu, I., Değer, M., Elalmış, H., Özkan, M., A GIS model for settlement suitability regarding disaster mitigation, a case study in Bolu Turkey, Engineering Geology, 2008, 96, 3–4, 126–140.
- [37].Abdullah, N.S., Suitability model based on GIS and MCDA for spatial distribution of settlements in different geographic environments, European Scientific Journal/SPECIAL/ edition, 2014, 2, ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- [38].Topaloğlu, M., Berksan, B., Topaloğlu, M.A., Sivas Nazım İmar Planı Açıklama Raporu, Sivas Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, 1985, Sivas.



# YAZARLARA BİLGİ

## Kayıt

Makaleler Cumhuriyet Fen Bilimleri dergisine üye olduktan sonra online olarak yazarlardan biri tarafından kayıt edilmelidir. Microsoft Word formatındaki (.doc, .docx, .rtf), LaTeX veya SW/SWP/SN (\*.tex) dosyalar kaydedilebilir. Herhangi bir sayfa sınırlaması yoktur. Eğer makalenin dosyalarını yükleme sırasında bir problem yaşanırsa, özellikle şekil içeren makalelerde makalenin ebadının azaltılması gerekir. Yazarlardan herhangi biri dışında yapılacak kayıtlar kabul edilmeyecektir. Kaydı yapan yazar kayıt ve değerlendirme sürecindeki tüm sorumlulukları almış olacaktır. Kayıt sırasında yaşanacak teknik problemlerde [cumhuriyettfendergi@gmail.com](mailto:cumhuriyettfendergi@gmail.com) adresinden destek istenebilir.

## Kabul Koşulları

Gönderilecek yayınların daha önce başka yerde yayınlanmamış (özet, yayımlanmış bir konferansın bölümü, derleme veya tez çalışmaları hariç) ve başka bir dergi tarafından değerlendirme aşamasında olmaması gerekir. Kaydı yapan yazar makalenin yayımlanması ile ilgili olarak tüm yazarların sorumluluğunu almış bulunacaktır. Belli kurumdan çıkan yayınlarda o kurumun onayının bulunmasını sağlamakta aynı zamanda yazarların sorumluluğundadır. Kabul tarihini sadece editöryel ofis tarafından yazılan kabul yazısı gösterir. Daha sonraki mektuplaşmalar ve düzeltmeler aksi gerekmedikçe yazar'(lar) a yayımdan önce gönderilecektir. Yayının yayımlanabilmesi için sorumlu yazar tarafından izin verilmesi gerekmektedir. İzin için gerekli tüm belgeler [cumhuriyettfendergi@gmail.com](mailto:cumhuriyettfendergi@gmail.com) adresine gönderilebilir.

## Değerlendirme

Değerlendirmeye alınan tüm çalışmalar akademik olarak belli standartları karşılamalıdır. Kayıtlar editör tarafından değerlendirilecek ve reddedilmemesi durumunda yazarlar tarafından bilinmeyen hakemler tarafından değerlendirilmeye alınacaktır.

## Başlık ve yazar bilgileri

Aşağıdaki bilgileri içermelidir

Yazı başlığı

Yazarların tam isimleri

Kurumun elektronik posta adresleri

İletişim adresi

Elektronik posta adresi

## Özet

Makale bir özet içermelidir. Özet referansları içermeyen 250-300 kelime arasında olmalıdır. Eğer makalede metin dili Türkçe ise makaleye İngilizce başlık ve İngilizce özet (abstract, keywords) de eklenmelidir.

## Anahtar Sözcükler

Bilimsel makalelerin anahtar sözcükleri Türkiye Bilim Terimleri ([www.bilimterimleri.com](http://www.bilimterimleri.com)) adresinden seçilmelidir.

## Giriş

Bu bölüm alt başlık içermemelidir.

## Gereç ve Yöntem

Bu bölüm bütün prosedürlerin tekrarlanmasını sağlayabilecek kadar detaylı yazılmalıdır. Eğer gerekirse alt başlıklara ayrılabilir.

## **Teşekkür**

Teşekkür kısmı için basit cümleler kullanılmalıdır. Örneğin CÜBAP (T-1111) tarafından desteklenmiştir. Değerli teknik ve editöryel katkılarından dolayı Prof. Dr. Mehmet Sözer'e teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

Yazarlar her bir kaynaktaki bilgilerin doğru ve tam olmasını sağlamakla sorumludurlar. Bütün referanslar ardışık olarak numaralandırılmalıdır ve referanslar makale içinde köşeli parantez içinde gösterilmelidir (örneğin; Smith ve arkadaşları [9] tarafından tartışıldığı gibi veya başka yerde de tartışıldığı gibi [9, 10]) Bütün referanslara makale içinde atıf yapılmalıdır, atıf yapılmayan referanslar çıkarılacaktır. Bütün yazar isimleri "ve ark." şeklinde ibareler kullanılmadan açıkça yazılacaktır.

Örnek kaynaklar:

[1] Nicopoullou J.D., Ramsay J.W., Gilling-Smith C., Almeida PA. Frozen embryos generated from surgically retrieved sperm from azoospermic men: are they clinically viable? J Assist Reprod Genet 2004; 21: 401-7.

[2] National Cancer Institute, Surveillance Epidemiology and End Results. Cancer of the Corpus and Uterus, NOS.

Adres: [http://seer.cancer.gov/statfacts/html/corp.html?statfacts\\_page=corp](http://seer.cancer.gov/statfacts/html/corp.html?statfacts_page=corp). Retrieved March 2, 2008. (web sitesi örnek referansı)

[3] Isaacson K.B., Endometrial ablation. In: UpToDate, Basow, DS (Ed), UpToDate, Waltham, M.A., 2008.

[4] Speroff L., Fritz M.A., Anovulation and The Polycystic Ovary. In. Speroff L., Fritz M.A. (Eds). Clinical Gynecologic Endocrinology and Infertility. 7th ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams and Wilkins; 2005: chap 12. ( web sitelerinde bulunan online kitap bölümlerinin örnek referansı)

[5] Mazur M.T., Kurman R.J., Dysfunctional Uterine Bleeding. In: Mazur M.T., Kurman R.J. (Eds). Diagnosis of endometrial biopsies and curettings. A practical approach. 2nd ed. Berlin: Springer, 2005; pp 100-120. (Basılmış kitap bölümlerinin örnek referansı)

## **Şekillerin hazırlanması**

Her bir şekil yayının içinde veya ayrı bir dosya olarak yüklenebilir ve yayın içinde sırasına göre isimlendirilmelidir. Şekil genişliği 4-6 inç ve 300 dpi olmalıdır. Şekil altyazıları açık ve net olmalıdır.

## **Tabloların hazırlanması**

Tablolara metin içinde atıf yapılmalıdır. Her bir tablo açıklayıcı bir başlık içermelidir ve eğer sayısal ölçümler kullanılırsa birimler sütun başlıklarında belirtilmelidir.

## **Düzeltilmeler**

Düzeltilmeler yayıncıya alındıktan sonra en geç 2 hafta içinde geri gönderilmelidir. Yayıncı en doğru yayını sağlamak için her şeyi yapacaktır. Bu nedenle makale ve şekillerin derginin tarzında yazılması gerekmektedir.

## **Telif hakkı**

Açık alan yazarları yazılarının telif haklarını kaybetmezler ve tüm yazılar Yaratıcı Ortak Atıf Lisansı altında dağıtılır ve izinsiz kullanımı, dağıtılması ve çoğaltılması engellenir.

Bu yayında kullanılan genel tanımlayıcı isimler, marka isimleri, ticari markalar özel olarak belirtilmediği zaman bile bu isimlerin ilgili kanunlar ve kurallar tarafından korunmadığını göstermez.

Bu dergide yayınlanan bilgilerin doğruluğuna ve yayım tarihinde yanlış yapılmamasına dikkat edilmesine rağmen yazarlar, editörler veya yayıncı yayında bulunan herhangi bir yanlış veya ihmalin sorumluluğunu almamaktadır. Yayıncı içeriğin herhangi bir yasal sorumluluğunu kabul etmemektedir.

## **Etik rehber**

*Yeni metotlar ve etik izin gerektiren durumlar detaylıca aşağıdaki gibi yazılmalıdır:*

İnsan deneyleri: Bütün çalışmalar Helsinki Bildirgesine (1964) göre yapılmalıdır. Herhangi bir zarar verme ihtimali olan çalışmalar şunları içermelidir:

Katılımcıların bilgilendirilmiş oluru mutlaka alınmalıdır

Deney prosedürlerini ilgili etik kurulun mutlaka kabul etmesi gerekir.

Hayvan deneyleri: Canlı hayvanlar üzerinde yapılan deneyler şunları sağlamalıdır:

Kullanılacak anestetik ve cerrahi yöntemlerin açık ve net anlatımı

Deneyin her bir basamağında hayvanın acı çekmesinin engelleneceği açıklanmalıdır. İzole dokular üzerinde yapılan çalışmalarda donör dokuların nasıl elde edileceği açıklanmalıdır.

### **Başvuru için Kontrol Listesi**

Başvuru sürecinde yazarlar başvurularının aşağıdaki listedeki tüm maddelere uyduğunu kontrol etmelidirler, bu rehberde uymayan başvurular yazarlara geri döndürülecektir.

Gönderilecek yayınların daha önce başka yerde yayınlanmamış (özet, yayımlanmış bir konferansın bölümü, derleme veya tez çalışmaları hariç) ve başka bir dergi tarafından değerlendirme aşamasında olmaması gerekir.

Makale Microsoft Word, RTF ve WordPerct , LaTeX veya SW/SWP/SN dosya formatında olmalıdır

Kaynaklarda ulaşılmak koşulu ile URL kullanılabilir.

Metindeki yazılar tek aralıklı, 11 punto büyüklüğünde ve altı çizili olmaktan ziyade italik tercih edilmelidir (URL adresleri hariç). Tüm örnekler, şekiller ve tablolar metin sonu yerine metnin uygun yerlerine yerleştirilmelidir.

Metin, Yazarlara Bilgi bölümündeki stilde yazılmalıdır.

Yazarlar hakemleri bilmeyecektir, hakemler yazarları bilmeyecektir ve hakemlik önyargısız olarak yapılacaktır.Dergimize gönderilen makaleler dergimizde yayınlamadan önce incelenir.

## **AUTHOR GUIDELINES**

### **Submission**

Manuscripts should be submitted by one of the authors of the manuscript as online submission after registration to the Cumhuriyet Sciences Journal. Microsoft Word (.doc, .docx, .rtf), LaTeX or SW/SWP/SN (\*.tex) files can be submitted. There is no page limit. If there is a problem while uploading the files of manuscript, please try to reduce their file size, especially manuscripts including embedded figures. Submissions by anyone other than one of the authors will not be accepted. The submitting author takes responsibility for the paper during submission and peer review. If for some technical reason submission through the online submission system is not possible, the author can contact cumhuriyettfendergi@gmail.com for support.

### **Terms of Submission**

Papers must be submitted on the understanding that they have not been published elsewhere (except in the form of an abstract or as part of a published lecture, review, or thesis) and are not currently under consideration by another journal. The submitting author is responsible for ensuring that the article's publication has been approved by all the other coauthors. It is also the authors' responsibility to ensure that the articles emanating from a particular institution are submitted with the approval of the necessary institution. Only an acknowledgment from the editorial office officially establishes the date of receipt. Further correspondence and proofs will be sent to the author(s) before publication unless otherwise indicated. It is a condition of submission of a paper that the corresponding author permit editing of the paper for readability. All enquiries concerning the publication of accepted papers should be addressed to cumhuriyettfendergi@gmail.com.

### **Peer Review**

All manuscripts are subject to peer review and are expected to meet standards of academic excellence. Submissions will be considered by an associate editor and-if not rejected right away-by peer-reviewers, whose identities will remain anonymous to the authors. The submitting author may be asked during the submission process to provide the names of up to 6 proposed reviewers accompanied with their email addresses.

### **Title and Authorship Information**

The following information should be included

Paper title

Full author names

Full institutional mailing addresses

Corresponding address

Email address

### **Abstract**

The manuscript should contain an abstract. The abstract should be self-contained and citation-free and should be 250-300 words.

### **Keywords**

Keywords of the scientific articles should be selected from the web address of [www.bilimadresleri.com](http://www.bilimadresleri.com)

### **Introduction**

This section should be succinct, with no subheadings.

### **Materials and Methods**

This part should contain sufficient detail so that all procedures can be repeated. It can be divided into subsections if required.

### **Conflicts of interest**

Sample sentence if there is no conflict of interest: The authors stated that did not have conflict of interests.

### **Acknowledgements**

Sample sentences for acknowledgements: The work was supported by grants from CUBAP (T-11111). We would like to acknowledge Prof. Mehmet Sözer, MD, for his precious technical and editorial assistance. We would like to thank

### **References**

Authors are responsible for ensuring that the information in each reference is complete and accurate. All references must be numbered consecutively and citations of references in text should be identified using numbers in square brackets (e.g., "as discussed by Smith [9]"; "as discussed elsewhere [9, 10]"). All references should be cited within the text; otherwise, these references will be automatically removed. All author names should be written without "et al." abbreviation.

Sample references:

[1] Nicopoullou J.D., Ramsay J.W., Gilling-Smith C., Almeida P.A., Frozen embryos generated from surgically retrieved sperm from azoospermic men: are they clinically viable? *J Assist Reprod Genet* 2004; 21: 401-7.

[2] National Cancer Institute, Surveillance Epidemiology and End Results. Cancer of the Corpus and Uterus, NOS. Available at: [http://seer.cancer.gov/statfacts/html/corp.html?statfacts\\_page=corp](http://seer.cancer.gov/statfacts/html/corp.html?statfacts_page=corp). Retrieved March 2, 2008. (Sample reference of website)

[3] Isaacson K.B., Endometrial ablation. In: UpToDate, Basow, DS (Ed), UpToDate, Waltham, M.A., 2008. (Sample reference of Uptodate topics)

[4] Speroff L., Fritz M.A., Anovulation and The Polycystic Ovary. In: Speroff L., Fritz M.A., (Eds). Clinical Gynecologic Endocrinology and Infertility. 7th ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams and Wilkins; 2005: chap 12. (Sample reference of online book chapters found in websites).

[5] Mazur M.T., Kurman R.J., Dysfunctional Uterine Bleeding. In: Mazur M.T., Kurman R.J., (Eds). Diagnosis of endometrial biopsies and curettings. A practical approach. 2nd ed. Berlin: Springer, 2005; pp 100-120. (Sample reference of printed book chapters)

### **Preparation of Figures**

Each figure can be integrated in the paper body or separately uploaded and should be cited in a consecutive order. Figure widths can be 4-6 inch as 300 dpi. The labels of the figures should be clear and informative.

### **Preparation of Tables**

Tables should be cited consecutively in the text. Every table must have a descriptive title and if numerical measurements are given, the units should be included in the column heading. Tables should be simple with simple borders and text written as left text.

### **Proofs**

Corrected proofs must be returned to the publisher within 2 weeks of receipt. The publisher will do everything possible to ensure prompt publication. It will therefore be appreciated if the manuscripts and figures conform from the outset to the style of the journal.

### **Copyright**

Open Access authors retain the copyrights of their papers, and all open access articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution license, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided that the original work is properly cited.

The use of general descriptive names, trade names, trademarks, and so forth in this publication, even if not specifically identified, does not imply that these names are not protected by the relevant laws and regulations.

While the advice and information in this journal are believed to be true and accurate on the date of its going to press, neither the authors, the editors, nor the publisher can accept any legal responsibility for any errors or omissions that may be made. The publisher makes no warranty, express or implied, with respect to the material contained herein.

### **Ethical Guidelines**

New methods and ethically relevant aspects must be described in detail, bearing in mind the following:

**Human Experiments.** All work must be conducted in accordance with the Declaration of Helsinki (1964). Papers describing experimental work on human subjects who carry a risk of harm must include:

A statement that the experiment was conducted with the understanding and the consent of the human subject.

A statement that the responsible Ethical Committee has approved the experiments.

**Animal Experiments.** Papers describing experiments on living animals should provide:

A full description of any anaesthetic and surgical procedure used.

Evidence that all possible steps were taken to avoid animal suffering at each stage of the experiment. Papers describing experiments on isolated tissues must indicate precisely how the donor tissues were obtained.

### **Submission Preparation Checklist**

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

The submission has not been previously published, nor is it before another journal for consideration (or an explanation has been provided in Comments to the Editor).

The submission file is in Microsoft Word, RTF, LaTeX or SW/SWP/SN (\*.tex) or WordPerfect document file format.

Where available, URLs for the references have been provided.

The text is single-spaced; uses a 12-point font; employs italics, rather than underlining (except with URL addresses); and all illustrations, figures, and tables are placed within the text at the appropriate points, rather than at the end.

The text adheres to the stylistic and bibliographic requirements outlined in the Author Guidelines, which is found in About the Journal.

If submitting to a peer-reviewed section of the journal, the instructions in Ensuring a Blind Review have been followed.