



OPEN  ACCESS

DUJE

Dicle University Journal of Engineering

ISSN 1309-8640

Dicle Üniversitesi Adına yayın Sahibi / Privilige Owner
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

Baş Editör / Editor-in-Chief
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

Alan Editörleri / Field Editors
Bilal GÜMÜŞ
Abdulnasır YILDIZ
Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Abdurrahman SAYDUT
Fevzi ÖNEN

Tasarım-Dizgi / Designing-Editing
Mesut ŞEKER

Yazışma Adresi

Mühendislik Dergisi, Koordinatörlük ve Yayın Bürosu,
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 21280 Diyarbakır
Telefon : +90-412 248 82 17, Faks : +90-412-248 82 18
Elektronik posta : muhendislikdergisi@dicle.edu.tr
web : <http://dergipark.gov.tr/dumf>

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

ISSN Basılı Materyal: 1309 - 8640
Online ISSN: 2146-4391

Hakem Listesi / *Reviewers List*

Dergimize yayınlanmak üzere gönderilmiş olan makaleleri titiz bir şekilde değerlendiren kıymetli hakem hocalarımıza, değerli katkılarından dolayı teşekkür eder, katkılarının devamını dileriz.

We greatly appreciate the contributions made by the scientists, who worked as reviewers for Dicle University Journal of Engineering (DUJE) and we expect their contributions to the following journal issues.

- Timur Düzenli (Amasya Üniversitesi)
Okan Özgönel (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Turgay Tugay Bilgin (Bursa Teknik Üniversitesi)
Kökten Birant (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Sevgi Demirel (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)
Edip Avcı (Bilecik Üniversitesi)
Murat Kayri (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
Baran Hekimoğlu (Batman Üniversitesi)
Selim Börekçi (Akdeniz Üniversitesi)
Tolga Topkaya (Batman Üniversitesi)
Murat Yavuz Solmaz (Fırat Üniversitesi)
Cengiz Yıldız (Fırat Üniversitesi)
Gökmen Öztürkmen (Gaziantep Üniversitesi)
Ercan Köse (Tarsus Üniversitesi)
Ayça Gülten (Fırat Üniversitesi)
Ayşegül Tanrıverdi Kaya (Düzce Üniversitesi)
Tamer Bağatur (DU)
Atilla Gencer Devecioğlu (DU)
İbrahim Kaya (DU)

İçindekiler / *Table of Contents*

Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- Effect of rotor geometry on performance of 6/4 switched reluctance motors (Research Article)*
Ahmet Fenercioğlu, Merve Şen Kurt, Altan Şahin, Zafer Keleş, Tuba Kocaer 459
- Hybrid Recommendation System Approach for appropriate developer selection in Bug Repositories (Research Article)*
Mohanad Al-imari, Sefer Kurnaz, Jalal S. H. Al-bayati 471
- Mardin ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi (Araştırma Makalesi)
Determination of biogas potential from animal waste in Mardin province (Research Article)
İbrahim Yenigün, Hakkı Gülşen, Abdullah Yenigün 479
- A Novel Modified Lévy Flight Distribution Algorithm based on Nelder-Mead Method for Function Optimization (Research Article)*
Ahmet Dünder, Davut İzci, Serdar Ekinci, Erdal Eker 487
- Sinh-ortam süzgeçlerinin biyomedikal uygulama örneklerinin incelenmesi (Derleme Makalesi)*
Review of biomedical application examples of sinh-domain filters (Review Article)
Fatma Zuhale Adalar, Ali Kırçay 499

Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

- Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Çevresel Yapışkan Yüzeyle Halka Kesitli Bağlantıların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi (Araştırma Makalesi)
Investigation of the Mechanical Behavior of Ring-Section Connections with Circumferential Adhesion Surfaces Combined with Adhesive (Research Article)
Anıl İMAK, Aydın TURGUT 515

Maden Mühendisliği / Mining Engineering

- Effect of pine resin on the thermal and mechanical properties of plaster with pumice (Research Article)*
Ayşe Biçer 523

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

Kralkızı barajının olası yıkılması sonrası bir boyutlu taşkın analizi (*Araştırma Makalesi*)
One-dimensional flood analysis of the Kralkızı dam possible collapse (Research Article)
Ali Em, Nizamettin Hamidi **535**

Assessment of the Acoustic Performance of Historical Structures That Shed Light on Today's Technologies: Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque - Diyarbakır (Research Article)
Derya Çakır Aydın, Filiz Bal Koçyiğit, Neslihan Dalkılıç **543**

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversite'nin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün veya işlevin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanılabilirliği konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu nedenle herhangi bir şekilde sorumlu tutulamaz.

Bu yayının herhangi bir kısmı, mühendislik dergisinin yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka sistemlerle çoğaltılamaz.

Effect of rotor geometry on performance of 6/4 switched reluctance motors

Ahmet FENERCİOĞLU^{1,*}, Merve ŞEN KURT², Altan ŞAHİN³, Zafer KELEŞ⁴, Tuba KOCAER⁵¹ Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat, ORCID iD 0000-0002-1522-6868² Amasya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Amasya, ORCID iD 0000-0003-1648-9368³ KORMAS Elektrikli Motor San. Tic. A.Ş., Kocaeli, ORCID iD 0000-0002-5041-4709⁴ KORMAS Elektrikli Motor San. Tic. A.Ş., Kocaeli, ORCID iD 0000-0002-0254-1068⁵ KORMAS Elektrikli Motor San. Tic. A.Ş., Kocaeli, ORCID iD 0000-0003-4614-7158

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 02 February 2021
 Received in revised form 22 April 2021
 Accepted 1 May 2021
 Available online 22 June 2021

Keywords:

Switched Reluctance Motor, Rotor
 Geometry, Finite Element Method,
 Modelling

This study investigates the effect of rotor geometry on performance in switched reluctance motors (SRM) using models analyzed by the 2-D Finite Element Method (FEM). All models have the same stator geometry, winding features, and air gap, but have different rotor geometries. The SRM model operates at nominal speed of 3000 rpm; with 6/4 pole and 150 W output power. Magnetic model analysis was undertaken for the 3 different rotor models. Electrical performance characteristics; speed, phase current, source current, efficiency, electromagnetic torque, and load torque were determined. Magnetic flux density and flux lines in the stator and rotor and the current densities in windings are presented. The optimal rotor model for SRM was determined by considering electrical and magnetic performance data.

Doi: 10.24012/dumf.955418

Introduction

Switched Reluctance Motors (SRM) have become widely preferred in applications requiring high speed due to their superior characteristics including simple structure, low moment of inertia and high volume/power ratio. Their pole rotors do not contain structures such as collector, rings, magnets, brushes, or windings. In this way, the cost of the motor is decreased and the motor gains a robust and simple structure. In addition, the laminated rotor structure, which does not contain structures such as magnets or brushes, eliminates the decrease in efficiency caused by copper losses [1].

However, SRMs have disadvantages including vibration and noise due to the ripple in their torque [2]. Also, they require different driver circuits for different structures, and motion sensors for switch control [3,4].

In SRMs, the geometric structure of the motor directly affects the operating characteristics, and

output parameters and the effect of factors, including pole arc width of rotor, air gap, skew angle of rotor and stator, stator/rotor pole number, pole embrace, and the truncation of pole corners, on SRM output performance have been investigated. In SRM, a change made to the rotor geometry leads to a change of rotor reluctance and inductance by affecting the flux path length and cross-section, which will affect torque and power in direct proportion to the square of the current [5].

The effect of the rotor pole angle on the electrical, mechanical and magnetic performance of the motor has been discussed in numerous studies [6-8]. The condition of the rotor pole arc being larger or smaller than the stator pole arc ($\beta_r > \beta_s$ and $\beta_s > \beta_r$) will change the reluctance of the magnetic circuit, which will lead to changes in inductance, input-output power, torque, and efficiency.

Other modifications have been made to improve performance. For example, Lee et al. [9] modified the rotor to include a 2 mm hole in each rotor pole of an SRM of 13.5 kW, which reduced torque ripple by 4.4%.

Other studies have found the ratio of the stator/rotor pole number to be important to the performance of the SRM and have determined that as the ratio, N_s/N_r ($N_s/N_r=6/4; 8/6; 12/8; 18/12$), is increased, radial forces cause stator vibrations and noise is increased. It is further concluded that current and moment characteristics affect the power and moment densities and decrease moment ripple [10,11].

In SRM design, it is known that pole embrace, which is proportional to the number of stator/rotor poles, affects efficiency due to average torque. In a study where stator pole width ratio was fixed at 0.35 and rotor width ratio varied over the range 0.3-0.5, the highest torque, highest efficiency and lowest torque ripple were achieved for a rotor pole width ratio of 0.5. This suggests that pole width should be increased in applications where high torque, high efficiency, and low torque ripple are desired. However, when pole width is increased, cost increases proportionally. Therefore, when high power is required or performance increased, pole width should be increased [12].

Most studies focus on the effect of rotor geometry on torque and torque ripple. This study also investigates electrical performance characteristics including shaft speed, phase current, source current, efficiency, electromagnetic torque, and load. The study also develops a visual presentation of the magnetic flux density in the stator and rotor, flux lines, and current density in windings. A 6/4-pole SRM was selected to investigate the effect of 3 rotor geometries on motor performance using analytic techniques and finite element analysis. Results from the 2-dimensional finite element analysis will allow the best rotor model to be determined for applications in an axial and radial fan.

Materials and Methods

Switched Reluctance Motor (SRM)

When a current passes through a phase winding in a SRM, the torque in the motor will cause the rotor to move to the position of maximum inductance, resulting in rotation. If the rotor material is steel and there is no permanent magnetization, the direction of the current in the phase winding is not significant and the direction of torque is always towards the closest overlap position. In this way, the torque causes rotation in one direction, with movement occurring from the unaligned position to the aligned position, as shown in the sequence of the relative positions of rotor and stator in Figure 1 (a), (b), (c).

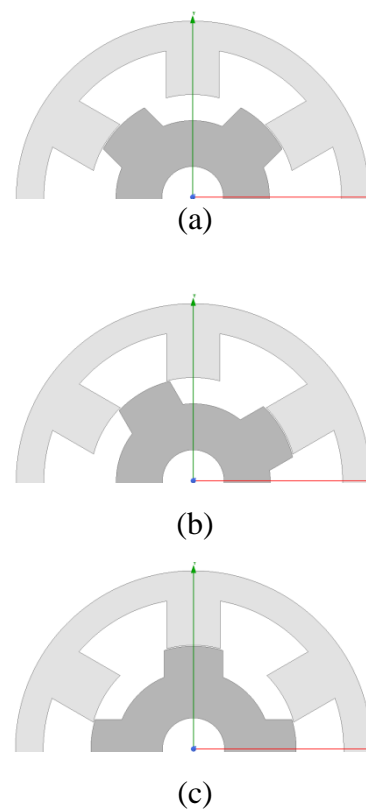


Figure 1. (a) Unaligned position, (b) Overlap position, (c) Aligned position

If the rotor and stator poles are symmetric, each phase can only generate torque in one direction according to the rotor pole arc angle. Therefore, at least two phases are needed to produce one-way torque in all rotor positions. If a current is passed through the winding while the rotor is rotating and it is in a position where the inductance is being reduced, a torque in an

opposing direction will be generated (known as braking or generator torque).

Torque ripple is high in SRMs. Smoother torque may be obtained by increasing the number of phases and including skew in the rotor. When the number of phases is increased, the electronic cost rises due to the greater number of switches in the driver. For low values of overall operating torque, the torque ripple in the three-phase motor can be reduced by the current profile. In practice, the phase current is reinforced in areas where there is torque descent [13-16].

SRM Magnetic Model

The SRM model investigated in this study has an output power of 150 W with a nominal maximum speed of 3000 rpm. The motor geometries that affect the performance of the SRM are shown in Figure 2 and defined in Table 1.

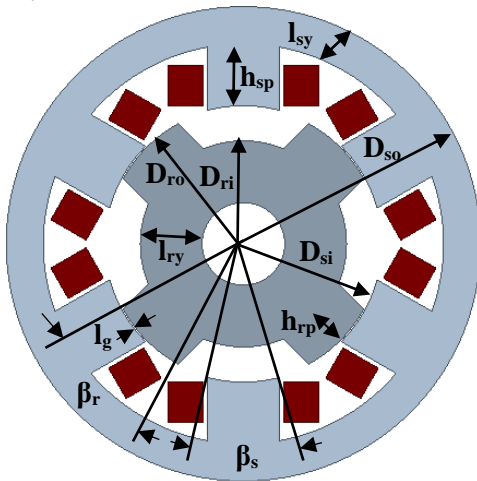


Figure 2. SRM cross-section parameters and dimensions

Table 1. Motor geometry parameters

Symbol	Quantity	Size
D_{so}	Stator outer diameter	115 mm
D_{si}	Stator inner diameter	67 mm
D_{ro}	Rotor outer diameter	66.3 mm
D_{ri}	Rotor inner diameter	20 mm
D_{sh}	Shaft diameter	10 mm
l_g	Air gap	0.35 mm
l_{sl}	Stack length	30 mm
β_s	Stator pole arc angle	30 deg
β_r	Rotor pole arc angle	33 deg
l_{sy}	Stator yoke length	9.5 mm
l_{ry}	Rotor yoke length	15 mm
h_{sp}	Stator pole height	14.5 mm
h_{rp}	Rotor pole height	8.15 mm

The stator pole arc angle (β_s) shown in Figure 2 is given by Equation 1, where n_s is the number of stator poles [17]. The rotor pole arc angle (β_r) (Equation 2) was made to be 10% greater than the stator pole arc angle to avoid a zero torque position.

$$\beta_s = \frac{\pi}{2n_s} \quad (1)$$

$$\beta_r = \beta_s \times 1.1 \quad (2)$$

The flux path cross-section at the rotor pole (A_r) is given by Equation 3, and the flux path cross-section at the stator pole (A_s) is given by Equation 4 [17]. The ratio of the stator outer diameter to the stack length is taken as $(D_{so}/D_{si}) = 3.83$. In this case, the stack length is calculated as 30 mm.

$$A_r = D_{ro} \times \beta_r \times l_{sl} \quad (3)$$

$$A_s = (D_{ro} + l_g) \times \beta_s \times l_s \quad (4)$$

The stator yoke flux path cross-section (A_{sy}) is given by Equation 5, and the rotor yoke flux path cross-section (A_{ry}) is given by Equation 6, where l_{sy} and l_{ry} are the stator and rotor yoke length, respectively [17].

$$A_{sy} = l_{sy} \times l_{sl} \quad (5)$$

$$A_{ry} = l_{ry} \times l_{sl} \quad (6)$$

The mean flux path length at the stator (l_{fs}) is given by Equation 7 and the mean flux path length at the rotor (l_{fr}) is given by Equation 8. The stator pole length (h_{sp}) and rotor pole length (h_{rp}) in the related equations give the flux path length in the poles [17].

$$l_{fs} = 2h_{sp} + \frac{(D_{so}+D_{si})\times\pi}{2} \quad (7)$$

$$l_{fr} = 2h_{rp} + \frac{(D_{ro}+D_{ri})\times\pi}{2} \quad (8)$$

The SRM attempts to maximize the inductance in the active phase by triggering phase windings in an appropriate order to generate the moments of torque. The total reluctance (R_s) of the magnetic circuit must be considered when calculating the inductance in the active phase. The magnetic flux path formed in the SRM when current is applied to the stator windings is shown in Figure 3(a), with the equivalent magnetic circuit shown in Figure 3(b), and consists of the entire rotor and stator yokes. In the aligned position, the flux path cross-section of the rotor and stator poles is symmetric and flux flows equally along the two alternate paths around the stator.

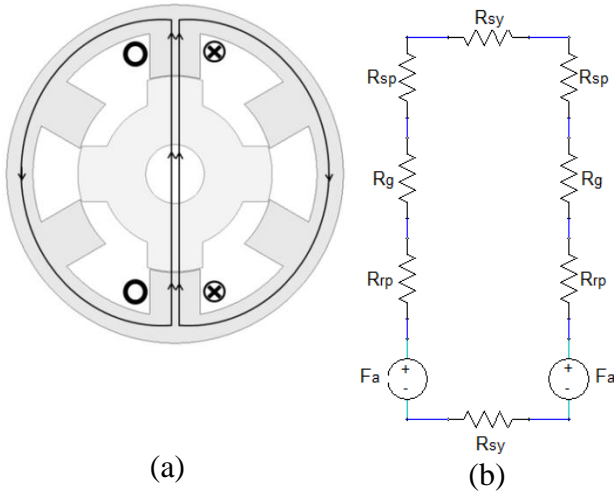


Figure 3. (a) Magnetic flux path (b) Magnetic equivalent circuit

The total reluctance (R_t) of the magnetic equivalent circuit is the sum of the stator pole reluctance (R_{sp}), stator yoke reluctance (R_{sy}), rotor pole reluctance (R_{rp}), rotor yoke reluctance

(R_{ry}) and air gap reluctance (R_g), as shown in Equation 9 [17].

$$R_t = 2(R_{sp} + R_{rp} + R_g) + R_{sy} + R_{ry} \quad (9)$$

The total reluctance may be expressed in terms of the permeability, μ , of the materials, where μ_0 is the permeability of vacuum, as given in Equation 10.

$$\Sigma R = R_t = 2 \left(\frac{h_{sp}}{\mu A_s} + \frac{h_{rp}}{\mu A_r} + \frac{l_g}{\mu_0 A_g} \right) + \frac{l_{fs}}{\mu A_{sy}} + \frac{l_{fr}}{\mu A_{ry}} \quad (10)$$

The phase inductance (L) is determined from the total reluctance, as in Equation 11, where N is the number of turns of the winding [17].

$$L = \frac{N^2}{\Sigma R} \quad (11)$$

The phase inductance of the SRM varies according to rotor position; with maximum phase inductance (L_a) occurring when rotor and stator pole are aligned, as shown in Figure 1 (c), and minimum phase inductance (L_u) occurring when rotor and stator poles begin to overlap, as shown in Figure 1 (b). In any unaligned position (Figure 1(a)) the inductance can be found for a given angle, θ , from Equation 12 [17].

$$L(\theta, i) = a_0 - a_1 \cos(n_r, \theta) \quad (12)$$

where n_r refers to the number of the rotor poles. The coefficients a_0 and a_1 are from the maximum and minimum inductances as Equation 13.

$$a_0 = \frac{L_{max}+L_{min}}{2}, a_1 = \frac{L_{max}-L_{min}}{2} \quad (13)$$

The electromagnetic torque (T) for rotor position is given by Equation 14. This indicates SRMs are capable of generating a high starting moment as the moment changes with the square of the current.

$$T(\theta, i) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \quad (14)$$

Mean torque or electromagnetic torque (T_e) is given by Equation 15.

$$T_e = \frac{1}{2} i^2 \frac{L_a - L_u}{\beta_s} \quad (15)$$

Analysis Method

The 2-dimensional analysis of the motor and driver circuit was undertaken using Finite Element Method (FEM), using the ANSYS/Maxwell FEM software. Transient and steady state analysis was performed for 3 different rotor geometries, named Type-1, Type-2 and Type-3. Analysis was performed at a sampling frequency of 2000 Hz for 1.5 s, during which the motor speed changed from 0 rpm to a nominal maximum speed of 3000 rpm.

Model of the SRM

The rotor geometry of the 3 motor models used in this study, Type-1, Type-2 and Type-3, is shown in Figure 4 (a), (b) and (c). All models had the same stator geometry and air gap. The motor power was 150 W, operating voltage 26 V DC and nominal maximum motor speed 3000 rpm.

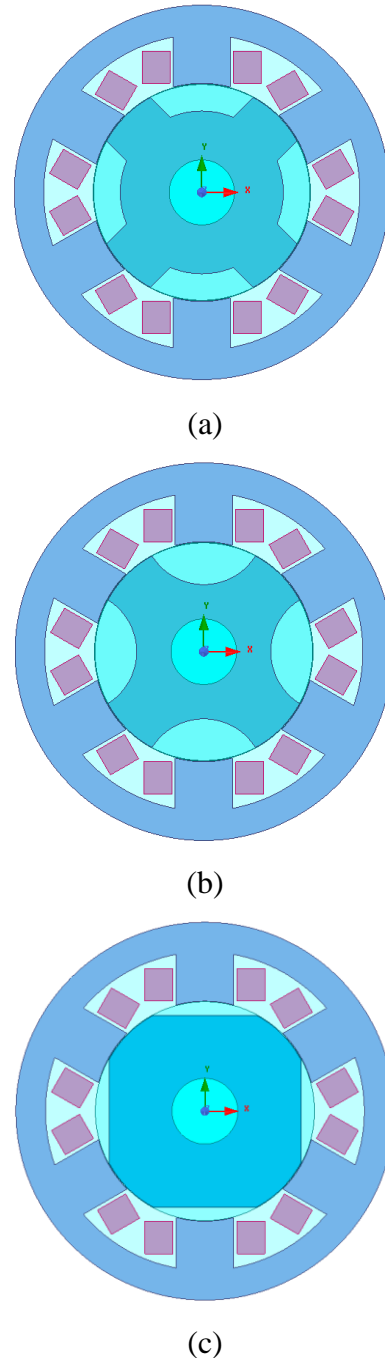


Figure 4. Rotor geometry types (a) Type-1, (b) Type-2, (c) Type-3

A siliceous steel with a stacking factor of 0.95 with B-H curve as given in Figure 5 was used as rotor and stator material.

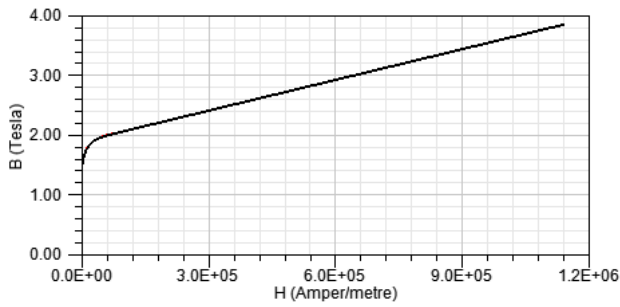


Figure 5. BH curve of the stator and rotor material

Driver Circuit

The 3-phase asymmetric bridge circuit given in Figure 6 was used to control the current in the 3 phases of the 6/4-pole SRM. Six (6) switching elements were used (two elements per phase), which ensured continuous rotation by switching the phases sequentially. The design of the rotor ensures that magnetic coupling between the phases is kept to a minimum, allowing independent control of each phase.

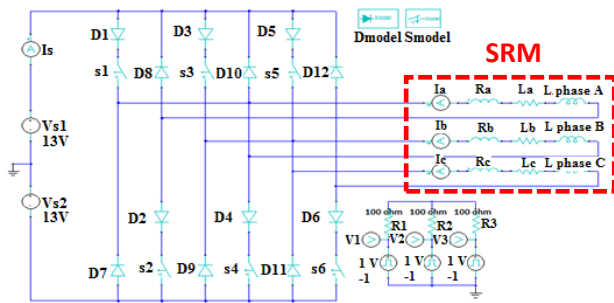


Figure 6. Driver circuit used in the simulation of the SRM

Finite Element Analysis (FEA)

Electrical and Mechanical Parameter

FEM was used for the 2-dimensional analysis of the SRM. Three (3) rotors having different shape, yoke length (l_{ry}), rotor height (h_{rp}) and rotor area (A_r) were modeled (Figure 4 (a), (b), (c)). Stator geometry, number of turns, conductor size, and motor lamination material were maintained the same in all analyses.

Figure 7 shows the speed for the three rotor geometries during the start-up transient state and the average speed for steady-state

conditions. This shows the Type-3 rotor geometry to have an average speed that is lower than Type-1 and Type-2.

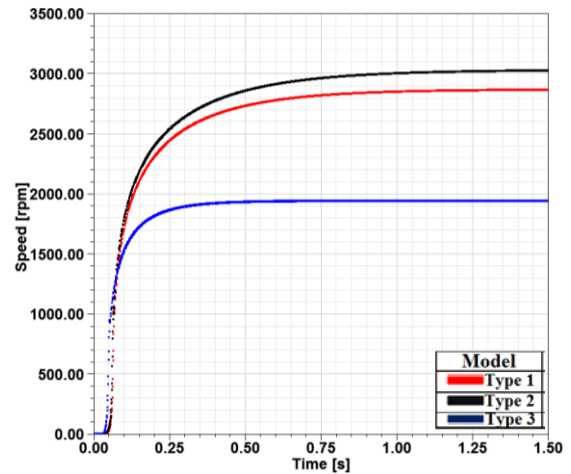
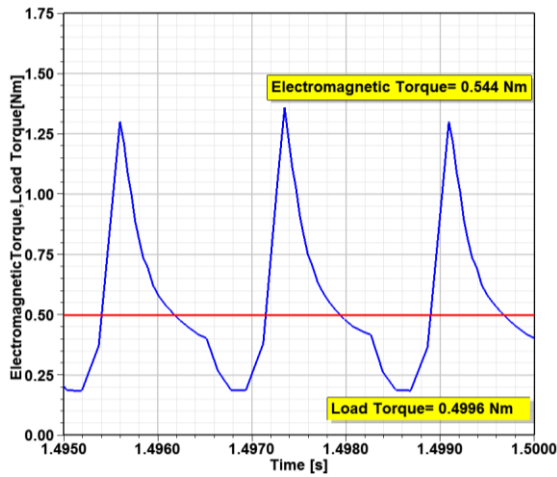
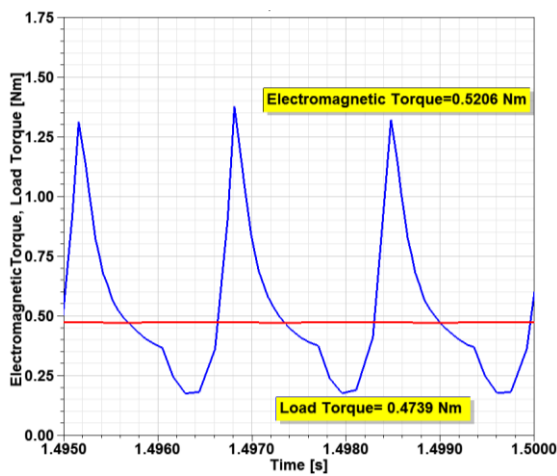


Figure 7. Speed depending on the rotor geometry

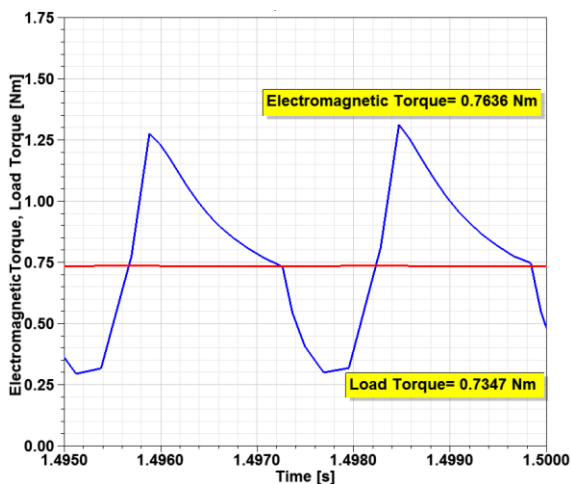
Figure 8 shows the variation in electromagnetic torque and load torque for the three rotor geometries in steady state. It is seen that the Type-3 rotor geometry maintains a higher electromagnetic torque compared to the Type-1 and Type-2 rotor geometries, resulting in electromagnetic torque and load torque that are approximately 40% higher. Figure 8 also shows that at rated speed there is no occurrence of negative electromagnetic torque during a phase. However note that the Type-3 rotor geometry reaches a lower final speed compared to the Type-1 and Type-2 rotor geometries.



(a)



(b)



(c)

Figure 8. Electromagnetic torque and load torque depending on rotor geometry (a) Type-1, (b) Type-2, (c) Type-3

Table 2 presents the average and ripple values for electromagnetic and load torque in steady state for the 3 rotor geometries. This shows the Type-3 rotor geometry has higher average torque and lower ripple and should be preferred in applications where these are important.

Table 2. Average Torque and Torque Ripple depending on rotor geometry

	Electromagnetic Torque		Load Torque	
	Avg. [Nm]	Ripple [SI]	Avg. [Nm]	Ripple [SI]
Type-1	0.5437	57.996	0.4996	0.167
Type-2	0.5206	60.428	0.4739	0.226
Type-3	0.7636	40.822	0.7347	0.145

Figure 9 shows how the stator phase current (I) varies depending on the rotor geometry. In models with Type-1 and Type-2 rotor geometry, the effective value of the phase current is approximately 3.5 A, whereas it is 5.16 A in Type-3, which would account for the higher torque.

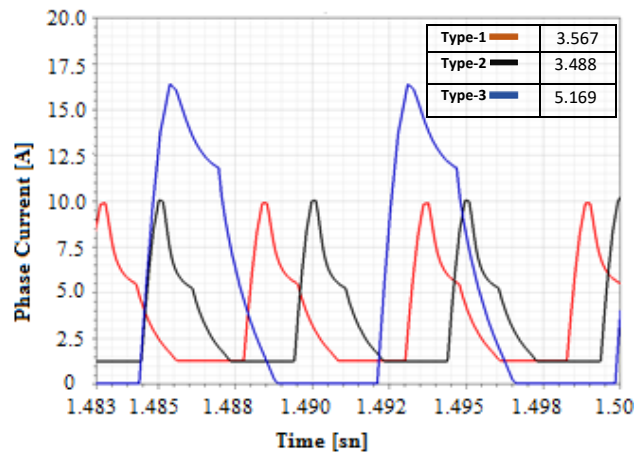


Figure 9. Phase current depending on rotor geometry

Figure 10 shows the source current (I_s) for each rotor geometry. The Type-1 and Type-2 rotor geometries have an effective source current, I_s , of 6.9 A, whereas the Type-3 has I_s of 7.55 A.

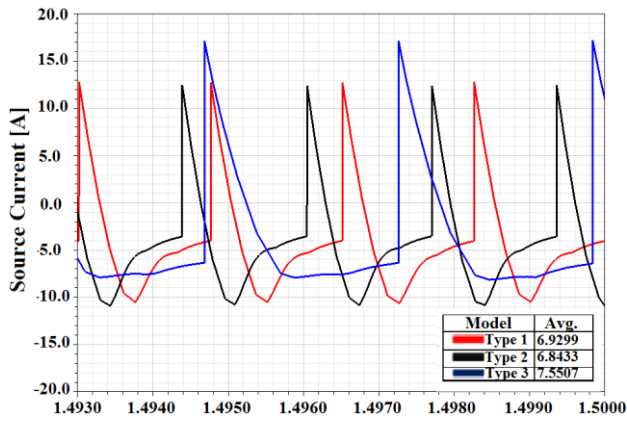


Figure 10. Source current depending on rotor geometry

Magnetic Parameters

The SRMs have been designed to operate with the core in saturation in order to achieve optimum performance. Figure 11 shows the distribution of flux lines with the rotor at an intermediate position, and how two poles occur.

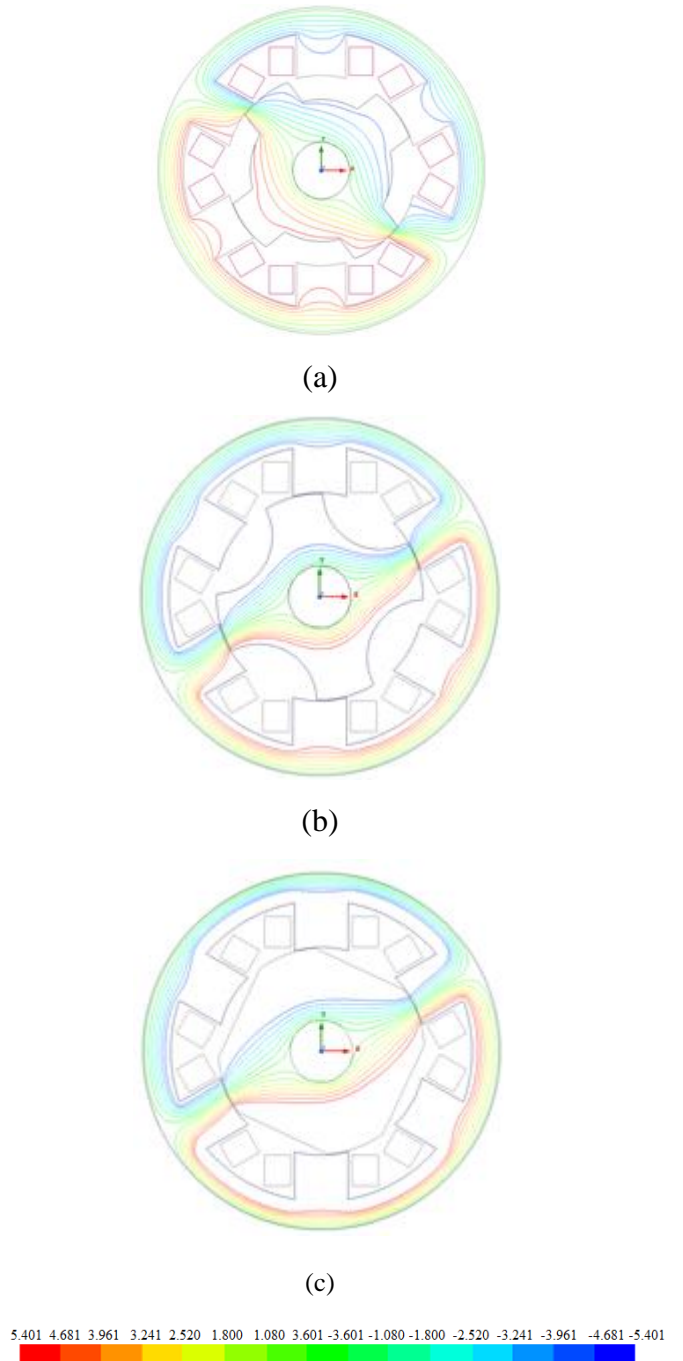
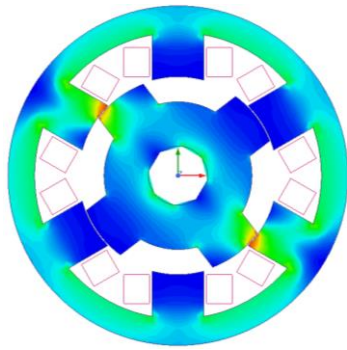
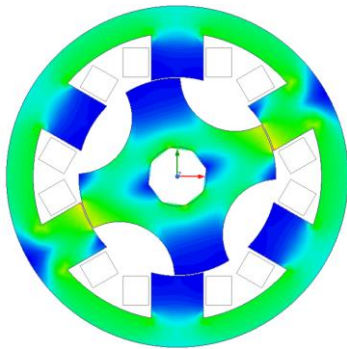


Figure 11. SRM flux lines (Wb/mm) (a) Type-1, (b) Type-2, (c) Type-3

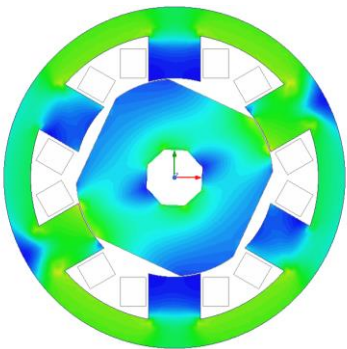
It is recommended that the magnetic flux density in the stator, rotor tooth and yoke regions of an SRM should be less than 1.8 T [18]. Figure 12 shows the distribution of the magnetic flux density in the stator and rotor in steady state for the Type-1, Type-2 and Type-3 rotor geometries.



(a)



(b)



(c)

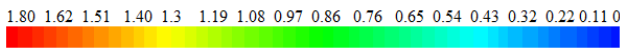


Figure 12. SRM magnetic flux density distribution (T)
 (a) Type-1, (b) Type-2, (c) Type-3

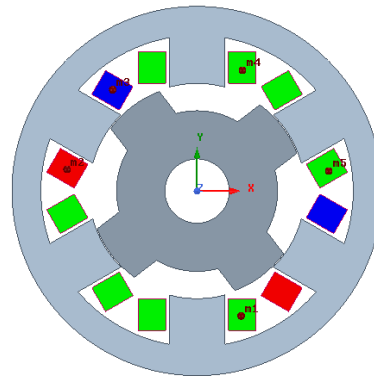
The maximum value for the magnetic flux density in the various regions of the stator and rotor for 3 geometries are given in Table 3 and shows that the magnetic flux density does not exceed the recommended maximum value in any location [18].

Table 3. Maximum magnetic flux density for the rotor geometries

	Stator Yoke	Stator Teeth	Rotor Yoke	Rotor Teeth
Type-1	0.634 T	1.650 T	0.694 T	1.510 T
Type-2	0.779 T	1.380 T	0.809 T	1.250 T
Type-3	1.080 T	1.344 T	0.871 T	1.209 T

Current Density in Stator Windings

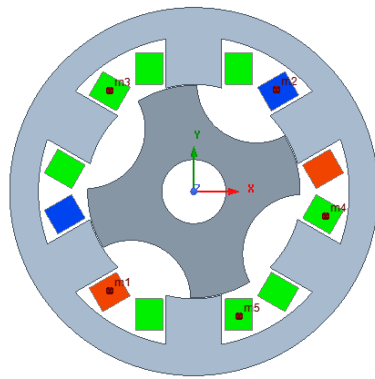
In enclosed and naturally cooled electrical machines, the current density in the phase windings should be in the range $1.5 < J_b < 5 \text{ A/mm}^2$ [19]. Figure 13 shows the distribution of the current density passing through the rotor bars at $t = 1 \text{ sec}$. The current density of the stator phase windings in each of the 3 geometries remains within the allowed range and indicates forced cooling is not needed.



Name	X	Y	Z	J
m1	13.664	-38.892	0.000	-6.149e+00
m2	-40.422	6.752	0.000	4.801e+06
m3	-26.175	31.552	0.000	-4.801e+06
m4	14.079	37.600	0.000	-6.149e+00
m5	40.892	6.229	0.000	-7.384e+03

Time =1.40000832000002s
 Speed =2863.694170rpm
 Position =262.390619deg

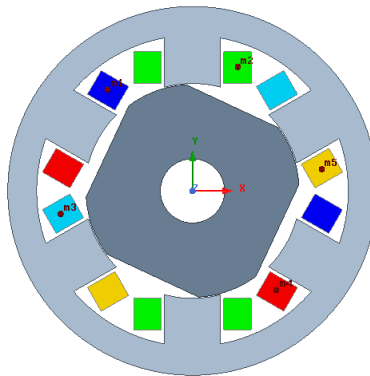
(a) max 4.8 A/mm²



Name	X	Y	Z	J
m1	-26.244	-30.963	0.000	3.996e+06
m2	25.768	31.849	0.000	-3.996e+06
m3	-26.244	31.564	0.000	-6.147e+00
m4	41.116	-7.657	0.000	-6.147e+00
m5	14.115	-38.921	0.000	-6.177e+00

Time =1.40001976000002s
 Speed =3019.634722rpm
 Position =239.999922deg

(b) max 3.99 A/mm²



Name	X	Y	Z	J
m1	-26.433	31.593	0.000	-6.798e+06
m2	14.105	38.682	0.000	-6.240e+00
m3	-41.053	-7.173	0.000	-2.684e+06
m4	26.068	-30.876	0.000	6.798e+06
m5	40.245	6.783	0.000	2.684e+06

Time =1.39991472000002s
 Speed =1943.460449rpm
 Position =244.939341deg

(c) max 6.79 A/mm²

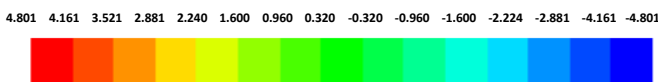


Figure 13. Current Density in Stator Windings (a) Type-1, (b) Type-2, (c) Type-3

CONCLUSION

In Switched Reluctance Motors, the rotor geometry directly affects the electrical and magnetic parameters, and thus performance. Changes only in rotor profile will alter the magnetic flux path length and cross-section, and

thus the magnetic reluctance. This will change the inductance, which will result in a change in current, input power, and therefore efficiency.

In the Type-1 and Type-2 rotor geometries, the rotor pole and tooth geometry are arc-shaped, resulting in similar input power and efficiency. In the Type-3 rotor geometry, the edges of the rotor pole are flat and it has sharp points at the poles. This results in a higher input power and thus lower efficiency. This would compare with the findings of others; where the Type-2 rotor geometry with circular rotor pole and tooth geometry provide highest efficiency, but the Type-3 rotor geometry, with rotor pole and tooth geometry having rectangular shape and sharp points, gives the lowest efficiency.

A summary of the performance parameters is given in Table 4.

Table 4. Performance parameters of the rotor geometries

Motor Parameters	Type-1	Type-2	Type-3
Source Current, I_s (A)	6.93	6.84	7.55
Phase Current, I_p (A)	4.51	4.45	7.86
Speed, n (rpm)	2861	3018	1943
Load Torque, T_l (Nm)	0.50	0.47	0.73
Shaft Torque, T_m (Nm)	0.54	0.52	0.76
DC Feeding, V (V)	26.00	26.00	26.00
Core Losses, P_{fe} (W)	9.72	9.65	12.06
Copper Losses, P_{cu} (W)	9.15	8.91	27.80
Mechanical Losses, P_m (W)	10.00	10.00	7.00
Leakage losses, P_l (% 1.5)	2.24	2.24	2.24
Output Power, P_o (W)	149.43	149.41	149.47
Output Power, P_i (W)	180.54	177.97	196.34
Efficiency, η (%)	82.77	83.95	76.13
Current Density, J (A/mm ²)	6.27	6.25	6.72
Flux linkage, λ (Wb)	0.01	0.0956	0.0147
Phase resistance, R_p (Ω)	0.15006	0.15006	0.15006

The Type-3 SRM has lower torque ripple than the other types due to having no-salient pole, therefore its mechanical losses are assumed as 7 W, as winding losses are low. Mechanical loss in the other types is assumed as 10 W.

Considering all electrical and mechanical performance parameters in Table 4, the Type-2

rotor geometry is optimal for the 3 phase 6/4 SRM.

Acknowledgement: This paper is derived from the project “Switched Reluctance Motor and Driver for Axial Fans and Blower Applications” undertaken in KORMAS R&D Center and supported by TUBITAK Teydeb project 7180878. A summary Turkish version of this paper was presented in EEMKON 2019 Congress.

References

1. C.E. İyde, A. Polat, L. T.Ergene, “6/4 ve 8/6 stator/rotor yapılarında ARM tasarımı, analizi ve karşılaştırması,” *Paper Presented at the National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering*, 2016, pp. 339–343.
2. Ü. Mutlu, “Anahtarlama Relüktans Motor Sürücü Devre Tasarımı,” Msc Thesis, Institute of Science and Technology, Erciyes, 2006.
3. M.M. Alaei, E. Afjei., S. Ataei, “A new resonant driver for switched reluctance motor,” *Paper Presented at the International Conference on Electrical Engineering*, 2007.
4. K. Masoudi, M.R. Feyzi., A. Masoudi, “Reduction of vibration and acoustic noise in the switched reluctance motor by using new improved stator yoke shape,” *Paper Presented at the 21st Iranian Conference on Electrical Engineering*, 2013, pp. 1–4.
5. Bal G., *Özel Elektrik Makinaları*, Seçkin Press, 2011, Ankara.
6. B. Bilgin., A. Emadi., M. Krishnamurthy, “Design considerations for switched reluctance machines with a higher number of rotor poles,” *IEEE Trans. on Ind. Electronics*, vol. 59, no. 10, pp. 3745–3756, 2012.
7. A. Fenercioğlu & İ. Tarımer, “Anahtarlama relüktans motor tasarımlarında farklı rotor geometrilerinin motor güç ve tork üretimine etkileri,” *Journal of Balıkesir University*, vol. 10, no. 1, pp. 19-30, 2008.
8. K. Vijayakumar et al., “Switched reluctance motor modelling, design, simulation, and analysis: a comprehensive review” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 44, no. 12, pp. 4605–4617, 2008.
9. J.W. Lee et al., “New rotor shape design for minimum torque ripple of SRM using FEM,” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 40, no. 2, pp. 754 – 757, 2004.
10. P.C. Desai et al., “Switched reluctance machines with higher rotor poles than stator poles for improved output torque characteristics,” *Paper presented at the 35th annual conference of IEEE industrial electronics*, 2009, pp. 1338–1343.
11. Z. Omaç, H. Kürüm, A.H. Selçuk., “18/12 kutuplu bir anahtarlı relüktans motorun tasarımı, incelenmesi ve kontrolü” *Fırat University Journal of Engineering Science*, vol. 19, no. 3, pp. 339-346, 2007.
12. A.V. Reddy & B.M. Kumar, “Torque ripple minimization of switched reluctance motor using pole embrace and pole configuration methods” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 10, pp. 8525-8529, 2018.
13. K. Çakır & A. Sabonovic, “In-wheel motor design for electric vehicles,” *Paper Presented at the 9th International Workshop on Advanced Motion Control*, 2006, pp. 613-618.
14. T.W. Ng, K.W.E. Cheng, X.D., “Computation of the in-wheel switched reluctance motor inductance using finite element method,” *Paper Presented at the 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, 2009.
15. M.C. Tsai, C.C. Huang, Z.Y. Huang, “A new two-phase homopolar switched reluctance motor for electric vehicle applications,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 267, no. 2, pp. 173-181. 2003.
16. M. Zeraouia, M.H. Benbouzid, D. Diallo, “Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: a comparative study,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.55, no. 6, pp. 1756-1764, 2006.
17. A. Fenercioğlu & M. Dursun, “Design and analysis of outer rotor in-wheel motor,” *International Review of Electrical Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 7545-751. 2011.
18. Z. Xu, D.H. Lee, J.W. Ahn, “Design of a novel 6/5 segmental rotor type switched reluctance motor,” *Paper presented at the IEEE industry application society annual meeting*, 2014, pp 1-7.
19. Y. Yaşa, Y. Sözer, M. Garip, “High power density switched reluctance machine development for high-speed spindle applications,” *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 26, no. 2, pp. 1572 – 1586, 2018.

Hybrid Recommendation System Approach for appropriate developer selection in Bug Repositories

Mohanad Al-imari ^{1,*}, Sefer Kurnaz ², Jalal S. H. Al-bayati

¹ Altınbaş University, 0000-0001-6112-7206

² Altınbaş University.

³ University of Baghdad. 0000-0001-7921-0489

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 October 2020
Received in revised form 7 March 2021
Accepted 18 Mart 2021
Available online 22 June 2021

Keywords:

Open source Bug Repositories;
Hybrid machine learning approach;
decision trees; Naive Bayes;
Random Forest; Neural Networks;
feature selection

Doi: 10.24012/dumf.818164

ABSTRACT

The essential destination of this research is to develop a hybrid recommendation system methodology to enhance the overall performance accuracy of such existed systems, this recommendation approach normally utilized to assign or propose a few counted numbers of programmers or developers that capable of resolving system's bug reports generated automatically from an open source bug repository, meaning the system decides which programmers or developers should be taken into account to be in charge of finding a solution the bugs mentioned in the bug's report. The definition of the bug selection problems in bug repositories are the activities that developers achieve within program maintenance to fix some specific bugs. Because of lot of bugs are created daily, many developers required are quite large, therefore it is difficult to specify the accurate programmers or developers to find a solution for the issues for specific bug inside the code. The article also aims to improve the accuracy results obtained than existed traditional approaches for this purpose. Besides, we have considered the case of prioritization of system developers, the case can be utilized to find an appropriate grade of developers' achievements as prior knowledge to assist the system in assigning of bug report issue. The results have found that the importance of developers could support the bug triage worker more and help software tasks to solve the bugs fast and within required time during development and support cycles of the software.

Introduction

In development of any software project including open source projects, there are several cycles, one of these cycles is the maintenance and support. With maintenance cycles, various maintenance bug reports are registered in the system which represents more than 70% of overall bugs. Programmers might loss more than half of their time for recognizing and resolve bugs. In addition to that, number of software bugs has become extremely high. For Instance, in eclipse project, more than twenty reports were sent to bug system in the release time. Also, project

of Debian is sending approximately more than twenty reports were sent to bug system in the release time. Also, project of Debian is sending approximately 140 reports in a daily manner [1]. These types of systems should help developers to control and manage bug reports and resolve them faster and easily. On the other hand, the assignment of the best programmer to a specific bug is still in the focus of scholarly attention in software development researches. Open source software usually supports bug repository, this bug box contains reports that automatically sent to developers that should fix and solve bugs.

* Corresponding author
Mohanad, Al-imari
✉ mohanad.alimari@ogr.altinbas.edu.tr

The bug file has to send to the developer or category of specific developers, and they will be responsible for resolving and fixing the bug. Using the recommendation system, whenever a new bug appears in the system, the recommendation system's engine (classifier) indicates the category of convenient developers to resolve the bug. As a result, this potential advantage will help bug triage workers to decide who should fix a bug report [2]. These bug warehouses are indexed and referenced to a section of problems proceeding, which creates a big database of any issues reported by software designers or programmers in a project. The open bug repositories are called open source, in which anyone can access these reports. These repositories have an essential role in those projects due to full access permission of programmer communities to view, find, share, edit, and fix during the project's development progress. We have used a dataset from the same open-source project (eclipse project) to build a hybrid classifier recommendation system using Naive Bayes, decision trees, random forest, and neural networks. Some Scholars also used the Support Vector Machines method and tried some unsupervised learning algorithms. Besides that, they used datasets from the firefox open source project and GCC project.

Literature Review

We briefly mention some approaches for recommendation systems for bug resolves proposed by some scholars for the background. Many models and simulations have been created and presented for finding the best developers for bug fixing in bug systems. Xuan et al. proposed a model that depends on social knowledge in the bug reports of Eclipse and Mozilla bug repositories utilizing the social network model [3]. Shokripour et al. utilized an automatic bug assignment using a time parameter. The approach considered time metadata for the weighted expression. The repetition of the word in reports is fixed by utilizing a technique called tf-idf [4]. Xia et al. have proposed an improved model of Linear Discriminant for bug assignment. They offered an incremental change approach as a learning approach called TopicMiner; this TopicMiner approach detects the appropriate bug reports for the proper developer concerning the bug's distribution and likeness. The likeness is

created as a relationship between bug fix programmer and distribution [5].

These bug warehouses are indexed and referenced to the section of problems proceeding, which creates a big database of any issues reported by software designers or programmers in a project. The open bug repositories are called open source, in which anyone can access these reports. These repositories have an essential role in those projects due to full access permission of programmer communities to view, find, share, edit, and fix during the project's development progress. Yang G. et al. [15] proposed a semi-automatic bug triage based on the Topic model from 30,000 bug reports from several open-source projects, and they achieved practical analysis with approximated 52% accuracy.

Data Description and Features

The dataset had been extracted from the eclipse bug repository until the year 2009. The inputs of the system are the features of the dataset that comes from the eclipse platform bug measures dataset, which has (7700×50) numbers. The first column of the data contains the bug id number. The last column contains the class labels from 1 to 7. Each class of the dataset represents a group of developers according to their companies assigned before to resolve bugs in some components of the software project, which means we have 48 features. For these features, we have utilized many machine learning algorithms by using Matlab and weka software. For classifying these features according to their class labels, we have validated them by using cross-validation. The dataset is multivariate. Tab. 1 below presents developer emails in each category and instances in each category. Each type of dataset represents a class or group of developers according to their companies and the number of bugs they have fixed/resolved.

Table 1. Developers and Instances in each class

Class	Number of developers and instances	
	Number of developers	Number of Instances
1	10	1206

Class	Number of developers and instances	
	Number of developers	Number of Instances
2	10	1173
3	19	735
4	60	845
5	11	1611
6	20	1281
7	8	919
Total	138	7700

The classes of the dataset represent a group of developers based on their companies.

The Features of the Eclipse dataset are:

bugID; component;; assigneeEmail;os; platform; milestone; nrKeywords; nrDependentBugs; peopleCC;openedhoursOpenedBeforeNextRelease;lastModified;priority;severity;resolution;firstFix;lastFix;hoursLastFixBeforeNextRelease;hoursLastFixAfterPreviousRelease;status;firstActivity;nrActivities;lastResolution;nrComments;hoursToLastFix;hoursToLastResolution;monthOpened;yearOpened;monthYearOpened;monthYearLastFixed.

These features represent the details and contents of each bug report. Below is an example of a bug report:

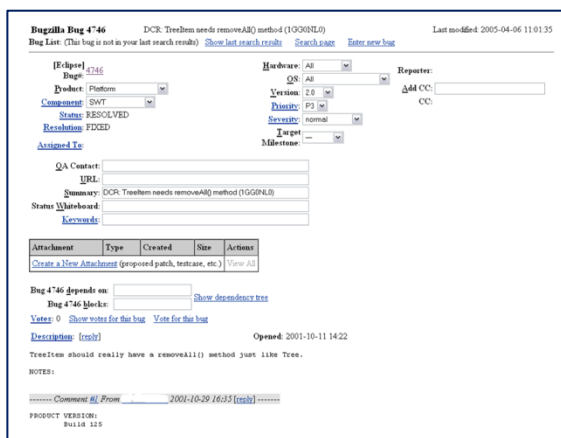


Figure 1. Bug report

Feature Selection

The datasets in which they are utilized for developers' assignments might give us inaccurate scores, and with time, it might overrun more project resources. So, we have to select a specific type of information which is called features in the machine learning community; this information should present the features in which they are redundant and inconsistent and affect the classification. In order to improve the accuracy of results, these redundant features should be removed [2]. Using feature selection approaches to check the datasets first, such as acquiring the information gain of these features, can be removed manually by eliminating the features with less information gain. In our case, we have eliminated the last 20 features (had lowest information gain) that had a negative effect on my classification results. Figure 2 shows the information gain results of the features.

```

=== Attribute selection 10 fold cross-validation (stratified), seed: 1 ===

average merit  average rank  attribute
0.65 +- 0.003  1 +- 0      1 component3Days
0.474 +- 0.004  2.3 +- 0.46  3 PredictedProbability_2
0.474 +- 0.004  2.7 +- 0.46  2 PredictedProbability_1
0.362 +- 0.002  4 +- 0       4 bugID
0.241 +- 0.003  5.3 +- 0.46  5 os3Days
0.239 +- 0.003  5.7 +- 0.46  6 PredictedProbability_1_1
0.223 +- 0.003  7 +- 0       7 PredictedProbability_2_1
0.119 +- 0.002  8 +- 0       8 status30Days
0.076 +- 0.002  9.1 +- 0.3   9 nrActivities30Days
0.072 +- 0.002  10.5 +- 0.81 10 nrActivities
0.072 +- 0.001  10.6 +- 0.66 11 hoursLastFixAfterPreviousRelease
0.07 +- 0.001  11.8 +- 0.4  12 nrActivities14Days
0.066 +- 0.001  13 +- 0      13 nrActivities7Days
0.059 +- 0.002  14.7 +- 0.9  14 status3Days
0.057 +- 0.001  15 +- 0.77  16 nrActivities3Days
0.058 +- 0.001  15.3 +- 0.64 15 hoursLastFixBeforeNextRelease
0.045 +- 0.001  17 +- 0      17 nrActivities1Days
0.032 +- 0.001  18 +- 0      18 hoursToLastFix
0.027 +- 0.001  19 +- 0      19 monthOpened
0.025 +- 0.001  20.1 +- 0.3  20 hoursToLastResolution
0.022 +- 0.001  22 +- 1.1   22 peopleCC
0.023 +- 0.001  22 +- 1.1   21 priority30Days
0.022 +- 0.001  22.8 +- 1.6 23 filter_$
0.021 +- 0.001  24.1 +- 1.3 24 nrPeopleCC30Days
0.021 +- 0.001  24.9 +- 1.22 25 nrPeopleCC14Days
0.02 +- 0.001  26.5 +- 1.8 26 hTLFix2Bins7Days
0.019 +- 0.001  27.4 +- 1.62 27 hTLFix2Bins3Days
0.019 +- 0.001  27.6 +- 1.43 28 nrPeopleCC7Days
0.018 +- 0.001  29 +- 1.67  29 nrComments30Days
0.018 +- 0.001  29.6 +- 1.36 30 nrPeopleCC3Days
0.017 +- 0.001  30.9 +- 1.45 31 nrPeopleCC1Days
0.016 +- 0.001  32 +- 1.1   33 hTLFix2Bins14Days
0.016 +- 0.001  32.1 +- 1.04 32 platform3Days
0.014 +- 0.001  34 +- 0      34 hTLFix2Bins1Days
0.012 +- 0.001  35 +- 0      35 hTLFix2Bins30Days
0.01 +- 0.001  36.6 +- 0.92 36 nrComments
0.009 +- 0.001  37.1 +- 1.3 37 hTLFix2Bins0Days
0.009 +- 0.001  37.9 +- 0.83 39 initPeopleCC
0.009 +- 0.001  38.7 +- 0.46 38 nrPeopleCC0Days
0.008 +- 0.001  39.8 +- 0.75 40 nrComments14Days
0.007 +- 0.001  41.2 +- 0.6 41 severity3Days
0.006 +- 0      41.7 +- 0.46 42 nrComments7Days
0 +- 0          43.1 +- 0.3 47 nrDependentBugs
0 +- 0          43.9 +- 0.3 45 nrComments1Days
0 +- 0          45 +- 0      46 nrActivities0Days
0 +- 0          46 +- 0      48 nrKeywords
0 +- 0          47 +- 0      44 nrComments0Days
0 +- 0          48 +- 0      43 nrComments3Days
0 +- 0          49 +- 0      49 resolution3Days
    
```

Figure 2. Features' Information gain

Methodology

Many machine learning algorithms will be utilized for implementing the recommendation system, such as Naive Bayes, Decision Trees, and Support Vector Machines. They might try some unsupervised machine learning algorithms like Expectation Maximization [2]. First, we have been attempting a hybrid of two machine learning algorithms as recommendation system engines such as Naive Bayes, Decision Trees. The Feature selection algorithms will be used on the training data set to get the best-related features. We have tried the forward selection algorithm to choose the best features and applied the Naive Bayes algorithm [6]. I used the Naive Bayes algorithm to classify the data set using MATLAB code [7] and WEKA software [8]. We also have applied the decision tree algorithm to the filtered dataset using the WEKA software with 0.25 confidence factor is utilized for pruning that lower values occur more pruning and two minNumObj is minimum instances per leaf and three numFolds that determines the amount of data utilized for minimizing the error in pruning. Only one fold is being used for pruning, and the others are utilized for growing the tree.

- *Classification Tree Rules:*

For node m , N_m examples in m domain, N_m^i for Class $_i$: [2]

$$\hat{P}(C_i | \mathbf{x}, m) \equiv p_m^i = \frac{N_m^i}{N_m} \quad (1)$$

If p_m^i is equal to zero or one, then Node m is called pure, and we mathematically calculate the Impurity in which it is entropy: [2]

$$I_m = -\sum_{i=1}^K p_m^i \log_2 p_m^i \quad (2)$$

Create a leaf and stop if node m is pure, otherwise continue split recursively. Calculate the Impurity after split: N_{mj} from N_m taking branch j . N_{mj} was taken from C_i . Finding the variables and separating that minimum Impurity (among all variables and splitting positions for numeric variables) [6].

- *Random Forest*

This is an ensemble approach that receives a subset of dataset observations and a subset of variables as branches of its tree to create many decision trees (An ensemble depends on a set of one-by-one trained models (neural networks, support vector machines, decision trees as an example). In general, it gives us high classification accuracy than other models such as Naïve Bayes and support vector machines [9]. It creates multiple decision trees and merges them to improve accuracy results and stable prediction trying to avoid underfitting and overfitting issues. The outcome is taken from the maximum voting of independent judges list, and the final prediction should be better than the best individual judge.

If m classifiers are to be created, they are created in sequence so that one model is made in one iteration. For creating a classifier C_i model, for example, weights of training instances are updated depending on the accuracy results of classifier C_{i1} . The model classifiers created by boosting usually are dependent [10].

To classify a new sample, it is run towards the trees that created the forest. Each tree has some classification score for the new sample in which it will be registered as a vote. The votes from all trees are merged, and the class in which the maximum votes are considered, which is called majority voting, is stated as the classification result of this new sample. As proposed by Breiman [8], these random forest approaches utilize majority voting as the voting model for classification. All experiments are executed concerning the voting technique. We have been used the random forest model, and it should give us good classification accuracy results with respect to some articles [9]. The random forest model contains many tree classifier models like $h_1(x)$, $h_2(x)$, ..., $h_K(x)$, K for tree number. Each classifier model is created utilizing a bootstrap replication of the training dataset and votes for one class. A test sample is classified by the top votes class's class label as it is called the majority voting [11].

The parameters that we will utilize of the Random Forest are:

- The tree's maximum depth, for unlimited, zero is put max depth = 0.

- numFeatures = 0; The number of features to be utilized randomly; If numFeatures < 1, logM+1 is used, M is the input's number. We have tried different numbers of features like 10 or 20, but that did not cause a real effect on accuracy results.

Numbers = 135; the number of trees to be created.

We have created a model of a Random forest, which consists of 135 trees. Each tree is constructed by taking into consideration five random features with an OOB error (out of the bag) is 0.3347. The Out of Bag is explained as follows: after implementing the classifiers model, which is five trees, for each x_i, y_i dimensions in the training set T_S , Choosing all T_K without including x_i, y_i . This small subset is a set of bootstrap sets that do not have a specific register from T_S Dataset, this set is called out of bag samples.

These sets are called N subsets, one for each data register in the training dataset T_S . Out of bag model classifier is the merge of votes only over T_K sets such that it does not include x_i, y_i . For the generalization error, Out of bag estimations error is the error ratio of the out-of-bag model classifier on the training set T_S as compare with known class labels y_i [13].

The study of error speculates for bagged model classifiers [13] gives empirical proof that the OOB presume it has good accuracy while utilizing a testing dataset with the same size as the training dataset. Thus, utilizing OOB error speculation eliminate the requirement of using a dataset apart from the test dataset.

- *Neural Networks*

This network-based approach was developed by the biological networks that model the attitude of the human brain system. This approach typically learns to achieve different tasks by considering samples of data called the training data without specific task regulations. For instance, in image analysis and detection, it knows to detect images that contain cars by training some sample images and labeled manually as "car" or "not car", and by utilizing the approach, it will output to detect cars from other unrelated images. It can be done without any prior knowledge. It automatically

creates and identifies characteristics from the samples entered into the approach.

The neural networks contain connected nodes called neurons, which represent neurons in the human brain. Each node is synapses in a biological brain which transmits a signal to other neurons (nodes). In created artificial neuron (node), the same attitude is utilized by receiving a signal, processing it, and send a signal to nodes connected to each one of them.

For experimental setup, a signal in bio-neural networks is represented by artificial neural networks' real value. The output of nodes is calculated by utilizing nonlinear functions of the sum of its inputs. The lines between nodes are connections that are called node edges. Nodes and edges have a weight that is evaluated and adjusted through the learning stage. The weight changes the connection's strength; nodes have a activated threshold while they achieved that threshold. Usually, Nodes are divided into many layers. Each layer contains many different nodes, and it performs various transformations on its inputs. The signal transmits from the first input layer, which is known as the input layer, to the final output layer, which is known as the output layer after visiting the in-between layers, which are called hidden layers multiple times depending on the threshold and the accuracy of achieving the best results for the training model. We have investigated the model of neural networks as a training model with the hybrid approach of decision tree and naïve Bayes to analyze the best performance for bug reports of open-source systems to the suitable developer.

- *Priority of Developers*

Several methods have been tested to calculate the hours needed for each developer in the training dataset and testing dataset and check the priority of each developer in the group using the following steps:

- Calculate the hours needed for each developer in the same class in the training dataset and testing dataset.
- Take the differences between the hours in the training dataset and the testing dataset.
- The accuracy results are sorted as the required average hours for the developer as the highest priority in this group; the

most significant hours needed is the lowest priority in the same group.

Results

We have achieved precision rates of greater than 50%, and they believed that the precision rates they reported are sufficient to help the bug triager decide which developers are good enough to be assigned to a specific bug report [7]. We used 10-fold cross-validation, applied the information gain feature selection algorithm, discretized the data, and used the Naive Bayes algorithm using MATLAB code and the WEKA software on the eclipse platform bug measures dataset. We have got the same results in MATLAB and WEKA software with 50.001% of correctly classified instances, so it was nearly the same rates that the paper achieved. Using the decision trees, we have got 62.7413% of correctly classified samples, and with using random forest, 66.0746% classification rate has been performed.

We have noticed that some features are not good or made the classification even worse, and others gave a higher rate to the classification accuracy. We have got the results using the 30 features that had high information gain. The 30 features of the dataset made 50.001% classification accuracy in Naive Bayes, and these features made 62.7413% classification accuracy using the decision tree algorithm. Using Random Forest with several trees equal to 135 (the best result we have got while using 135 trees), We have found that the classification accuracy increased by 3.33% than the decision tree achieving 66.0746%.

Table 2 shows the results of different machine learning algorithms we used like Naïve Bayes, Decision Trees, Random Forest, NBTree, Simple Logistic, and Neural Network (Learning rate: 0.3, batchsize:100).

Table 2. Classification Accuracy Results

Algorithm	Classification accuracy (%)
Naïve Bayes	50.001
Decision Trees	62.7413
Random Forest (25 Tress)	64.9807
Random Forest (50 Tress)	65.2767
Random Forest (75 Tress)	65.7529
Random Forest (100 Tress)	65.9588
Random Forest (135 Tress)	66.0746
Random Forest (200 Tress)	65.9846
Random Forest (500 Tress)	65.9846
NBTree	60.1802
SimpleLogistic	60.514
Neural Network	66.514

Concerning the trees count in random forest approach, the accuracy results acquired have shown occasionally that whenever several trees increase in a forest only increase its computational time and cost and have no considerable changes in performance gain and this is what occurred in our datasets when we have used more than 135 trees. We have tried 200 trees and 500 trees, and no performance gain is acquired [13]. So, we have tried several methods to improve the classification accuracy and the performance of the algorithms, and we have found that we should make some changes to the class labels like normalization and clustering, as is seen in the next section (clustering results). For each developer's priority in the same group, we calculated the hours needed for each developer using the last hours' feature. Table 3 shows the effects of hybrid utilizing of Naïve Bayes algorithm and DT together in the training dataset (50%-50%) and the usage of RF with Neural Networks (50%-50%) in the training dataset, we could declare as it is seen from results that it has better accuracy results than the usage of each one separately.

Table 3. Hybrid Accuracy Results

Methodology	Classification accuracy (%)
Naïve Bayes with decision Trees	57.3811
Random Forest with Neural Networks	67.7473

Conclusion

The semi-automatic assignment approach is an excellent method to assist the bug triage worker in deciding depending on the specific category of bugs concerning the developer's knowledge and experience. By utilizing an open-source software project (bugs repository) to classify the bug reports dataset. We have been used hybrid machine learning models: random forest, neural networks, and naive Bayes. For the feature selection, we have used the information gain values to detect which features are useful for classification, and we have eliminated 20 features because they had low information gain. We have done the classification based on the best 30 features and one feature for each class label.

The classification results have shown why we have selected algorithms such as random forest

and neural networks to classify the bug reports. To support my conclusion, many research papers are approved that suggestion [9] and the results that we have obtained are improved. In general, it will give more accuracy than traditional decision trees and support vector machines. Two advantages that let us select random forest for our dataset. The first advantage is that they do not anticipate linear features or linearly interacted features. The branch of the tree is just a decision point of entire trees combined; this can deal with the dataset correctly. The other advantage is that, because of how they are constructed, this approach deals correctly with more than two-dimensional spaces and large datasets of training samples [14].

For random forest parameters, we have found that the right numbers of random trees to use are 135 trees; the classification accuracy of a random forest relies on the durability of the individual tree model classifiers and dependency between trees [8]. The trees are genuinely classified by the category label of the overcome category (majority voting) [11]. Sometimes, increasing the trees in the random forest technique increases its computational time and cost and has no significant performance gain results [13]. The hybrid approach of utilizing random forest and neural networks, decision trees, and naïve Bayes has created high bug assignment classification accuracy.

Many future enhancements and practical system possibilities can be considered, considering that it is always required that the system should behave automatically for analyzing, recognizing, and appropriate feature selection, for instance, code checking and time while executing different tasks for adaptation and resolving incoming new various tasks automatically.

References

1. Wu, W.; Zhang, W.; Yang, Y.; Wang, Q. Time series analysis for bug number prediction. *In Proceedings of the 2nd International Conference on Software Engineering and Data Mining*, Chengdu, China, 23–25 June 2010, 589–596.
2. B.Azhagusundari; Thanamani A.S. Feature Selection based on Information Gain. *IJITEE*, 2013, 2, 19-21.
3. Xuan, J.; Jiang, H.; Ren, Z.; Zou, W. Developer prioritization in bug repositories. *In Proceedings of the 2012 34th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, Zurich, Switzerland, 2–9 June 2012, 25–35.
4. Shokripour, R.; Anvik, J.; Kasirun, Z.M.; Zammani, S. A time-based approach to automatic bug report assignment. *J. Syst. Softw.* 2015, 102, 109–122.
5. Xia, X.; Lo, D.; Ding, Y.; Al-Kofahi, J.; Nguyen, T. Improving automated bug triaging with the specialized topic model. *IEEE Trans. Softw. Eng.* 2016, 43, 272–297.
6. Ethem Alpaydin, Introduction to Machine Learning, 2nd edition, MIT press, 2010, London, England.
7. Anvik J.; Hiewand L.; Murphy G. Who Should Fix this Bug, *ICSE*, 2006, Shanghai, China, 20-28.
8. Breiman L. Random Forests, *Springer Machine Learning*, 2001, 45, 5-32.
9. Liuac M.; Wangb M.; Wangc J.; Lic D. ,Comparison of random forest, support vector machine and back propagation neural network for electronic tongue data classification: Application to the recognition of orange beverage and Chinese vinegar., *Elsevier ,Sensors and Actuators*, 2013, 177, 970–980.
10. Kulkarni V. Y.; Sinha P.K. Random Forest Classifiers :A Survey and Future Research Directions, *International Journal of Advanced Computing*, 2013, 36, 1144-1153.
11. Yan M.; Guo L.; Cukic B. A statistical framework for the prediction of fault-proneness." *Advances in Machine Learning Applications in Software Engineering*. IGI Global, 2007, 237-263.
12. Breiman L. OUT-OF-BAG ESTIMATION, Statistics Department, 1996, University of California, USA.
13. Oshiro T. M.; Perez P. S.; Baranauskas J.A. How Many Trees in a Random Forest, Department of Computer Science and Mathematics, University of Sao Paulo, Lecture Notes in Computer Science, 2012, 7376.
14. Amatriain X., Pompeu Fabra University. Associate Professor in Computer Science, 2019, VP of Engineering at Quora.
15. G. Yang, T. Zhang and B. Lee, "Towards Semi-automatic Bug Triage and Severity Prediction Based on Topic Model and Multi-feature of Bug Reports," *2014 IEEE 38th Annual Computer Software and Applications Conference*, Vasteras, Sweden, 2014, pp. 97-106.

Mardin ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi

Determination of biogas potential from animal waste in Mardin province

İbrahim YENİGÜN¹, Hakkı GÜLŞEN², Abdullah YENİGÜN^{3*}

¹Harran Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Şanlıurfa, ibrahimyenigun@harran.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4742-0160

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, hgulsen@harran.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0726-555X

^{3*}Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, abdullah.yenigun@mardin.bel.tr, ORCID ID: 0000-0001-9117-2171

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 28 Ocak 2021
Düzeltilme: 10 Mayıs 2021
Kabul: 20 Mayıs 2021

Anahtar kelimeler:

Hayvansal atık, Biyogaz, Mardin

ÖZET

Dünyada nüfus artışına bağlı olarak, her geçen gün enerjiye olan gereksinim artış göstermektedir. Özellikle Türkiye gibi gelişen ülkelerde sanayinin gelişmesi, gelir seviyesinin artması ve teknoloji ile birlikte geliştirilen yeni nesil ürünlere paralel olarak ileriki senelerde enerji ihtiyacının daha da artacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte günümüzde kullanılan fosil kaynakların dünyada çok önemli çevresel sorunlar oluşturması ve bu kaynakların çok yakın bir gelecekte bitecek olması gibi faktörler çevre dostu enerji kaynaklarına olan yönelime ivme kazandırmıştır. Bu düşüncelerden hareketle çalışmada; yenilenebilir enerji ürünlerinden biri olan biyogaz için Mardin ili hayvansal atık potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca bağlı olarak çalışmada, İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün güncel verileri kullanılarak küçükbaş, büyükbaş ve kanatlı hayvan varlığına göre oluşacak gübre miktarları hesap edilmiş, muhtemel yıllık biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Çıkan sonuçla ise üretilebilecek enerji potansiyeli ortaya konmuştur. Buna göre; Mardin il sınırları içerisindeki hayvanlardan temin edilebilecek gübrenin çürütülmesi ile yıllık 177823801 m³ biyogaz ve bu biyogazdan yaklaşık 404600 GJ enerji üretim potansiyeli olduğu ve elektrik enerjisi eşdeğeri ise günde 229512 kWh olabileceği belirlenmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.955496

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 28 January 2021
Revised: 10 May 2021
Accepted: 20 May 2021

Keywords:

Animal waste, Biogas, Mardin

ABSTRACT

Depending on the population growth in the world, the need for energy is increasing day by day. In particular, the development of industry in developing countries such as Turkey, which was developed together with the increase of income levels and technology are considered in parallel with the new generation of products will further increase the demand for energy in the year ahead. However, factors such as the fossil resources used today, which create very important environmental problems in the world and that these resources will end in the very near future have accelerated the trend towards environmentally friendly energy resources. Working with these thoughts; It is aimed to determine the animal waste potential of the province of Mardin for biogas, one of the renewable energy products. Depending on this purpose, the amount of fertilizer to be formed according to the presence of ovine, bovine and poultry was calculated using the current data of the Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, and the possible annual biogas amount was calculated. As a result, the energy potential that can be produced has been revealed. According to this; With the digestion of the manure that can be obtained from the animals within the borders of Mardin province, it has been determined that there is an annual biogas potential of 17794331 m³ and an energy production potential of 403931 GJ from this biogas and the equivalent of electrical energy can be 229131 kWh per day.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Abdullah YENİGÜN

✉ abdullah.yenigun@mardin.bel.tr

Giriş

Nüfus artışı ile birlikte, insanların enerji talebinde de sürekli bir artış olmaktadır [1]. Dünyada son yıllarda 17 kat artan enerji tüketimi, fosil yakıtların sebep olduğu ve ortama atılan kükürtdioksit, azotoksitler ve karbondioksit gibi çevreye zararlı gazları da arttırmıştır [2]. Fosil yakıtların işlenmesinden elde edilen enerjinin çevreye verdiği zarar tüm çevrelerce bilinmektedir. Bu nedenle hangi enerji kaynağı kullanılacaksa çevreye olan etkisiyle beraber değerlendirilmektedir [3]. Mevcut fosil yakıtların; yakın gelecekte tükenecek olması, ciddi çevre sorunlarına yol açması, fosil yakıt üreten ülkelere bağımlılığın çeşitli ekonomik ve siyasi sorunlara sebep olması ve fiyat istikrarsızlığı nedeni ile insanları yeni enerji kaynakları bulmaya zorlamıştır. Bunun sonucunda hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle, dalga, hidrojen vb. olan yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır [4].

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde bitkisel, hayvansal ve organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklardan oluşan biyokütle önemli bir yer tutmaktadır [5]. Biyokütlenin uzak bölgelerde özellikle enerjiden yoksun yerlerde üretilmesi ile bu bölgelerin gelişimine katkı sağlanması ve istihdamın artırılması mümkündür [6].

Biyokütlenin oksijen olmayan ortamda fermente edilmesi sonucunda; meydana çıkan renksiz, kokusu olmayan, havadan çok daha hafif, parlak açık mavi alev ile yanan ve içeriğinde yaklaşık; % 40-70 CH₄, % 30-60 CO₂, % 0-3 H₂S ile az miktarda N ve H bulunan biyogaz oluşmaktadır [3-7]. Biyogazın; oluştuğu gazlardan CH₄ oranına göre ısı değeri bir m³'te 17-25 MJ aralığında değişir [8].

Dünyada biyogaz üretiminde en fazla büyükbaş hayvanların gübreleri kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni günlük gübre miktarları diğer hayvanlarınkine göre daha fazla olmasıdır. Süt sığırlarının atıklarındaki katı madde miktarı et sığırlarıninkine oranla daha düşüktür. Süt

sığırlarının gübre içeriğindeki lifler yüksek düzeyde çürümeye dirençli olduğu ve su ile lif içerikleri yüksek olmasından dolayı daha düşük oranda metan gazı elde edilir [9].

Öteki hayvan gübrelerine oranlanırsa, kümes hayvanların gübresi daha fazla biyolojik olarak parçalanabilen organik madde içermektedir. Yaş gübre oluşumu bir tavuk başına 0,08-0,125 kg/gün aralığında olup bunun da ortalama %20-25 miktarı kadar katı madde ihtiva eder. Bunun da %55-65 aralığı kadarı uçucu katı maddedir. Bu da, bu tür hayvanların gübresinin önemli bir biyogaz kaynağı olduğunu göstermektedir [6].

Noorollahi ve arkadaşları [10], İran'daki farklı iller için besi hayvanlarının gübresinden, inek sayısı, üretilen gübre miktarı ve bir kilogram hayvan atığı başına oluşturulan biyogaz hacmi ile ilgili istatistiksel veriler kullanılarak elde edilebilecek biyogaz potansiyelini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda çiftlik hayvanı atıklarından biyogaz üretiminin potansiyel olarak ülkenin doğal gaz talebinin bir kısmını karşılayabileceğini gösterdi. İran'ın Sistan-Baluchestan ve Ilam bölgelerinin yüksek gaz tüketimi ve devasa biyogaz üretim potansiyelinden dolayı öncelikli biyogaz üretim bölgeleri olması gerektiği kanaatine varmışlardır.

Benzer şekilde, Abdeshahian ve arkadaşları [11], muazzam bir biyogaz kaynağı sağlayan gübre, kan ve işkembe içeriği de dahil olmak üzere büyük miktarda hayvan atığı üretilen Malezya bölgesinde bulunan çiftliklerdeki hayvanların gübrelerinden elde edilebilecek biyogaz potansiyeli üzerine yapmış oldukları çalışmada, Malezya çiftliklerindeki hayvan gübrelerinden yıllık 4589,49 milyon-m³/yıl biyogaz üretilebileceğini hesaplamışlardır.

Tüm bu veriler değerlendirildiğinde; dünyanın değişik ülkelerinde hesaplandığı gibi Ülkemizde de biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması ve neticesinde oluşacak enerji miktarının belirlenmesi ekonomik sürdürülebilirlik ve çevre

politikaları açısından önemi açıkça görülmektedir.

Bu çalışmada Mardin İli için biyogaz üretim potansiyeli ve bundan elde edilebilecek enerji miktarı incelenmiştir. Bu kapsamda Mardin bölgesinde mevcut olan kanatlı, küçükbaş ve büyükbaş hayvan miktarı tespit edilmiş ve bu hayvanların bir günde ürettikleri gübreler dikkate alınarak günlük ve yıllık atık miktarlarının hesabı yapılmıştır. Daha sonra her hayvanın gübresindeki biyogaz elde edilebilecek potansiyele göre üretilebilecek biyogaz miktarı ve buna bağlı enerji potansiyeli hesaplanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Mardin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün 2020 yılı verileri kullanılarak, İldeki mevcut kümes, küçükbaş ve büyükbaş hayvan varlığından elde edilen atık miktarları ve biyogaz potansiyelinin hesabı yapılmıştır.

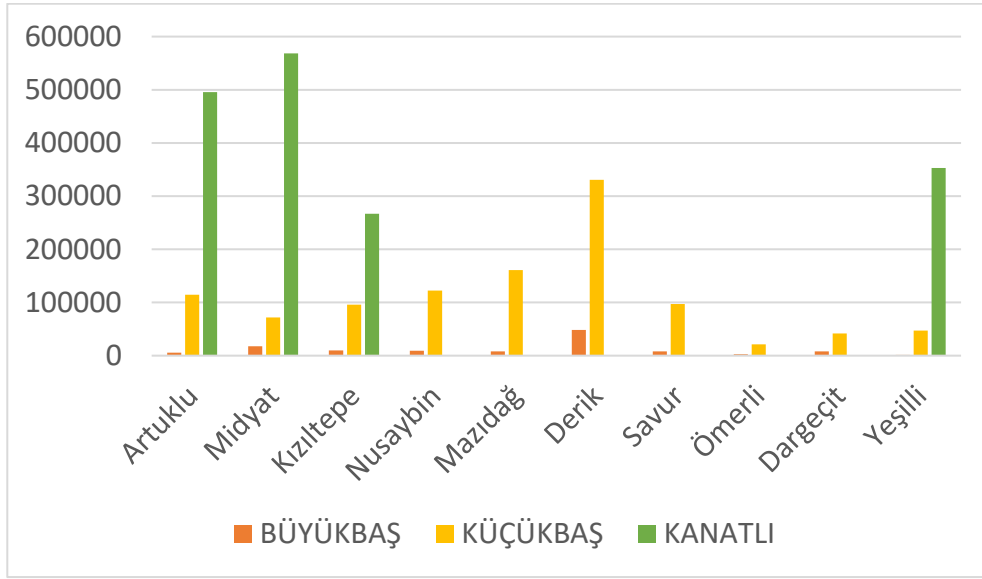
Mardin ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelini belirlemek için Burdur ve

Çanakkale illerindeki biyogaz potansiyelini belirlemek için yapılan çalışmalarda hayvansal atıklar ile ilgili yapılan kabuller kullanılmıştır [12-13]. Hayvansal atıklar ile ilgili kabuller; küçükbaş hayvandan yılda 0,7 ton yaş gübre edilirken, büyükbaş hayvandan yılda 3,6 ton yaş gübre elde edildiği ve bir kanatlı hayvandan ise yılda 0,022 ton yaş gübre elde edildiği kabul edilmiştir [12-13]. Elde edilebilen; kümes hayvanları gübrelerinin % 99, küçükbaş gübrelerinin % 13 ve büyükbaş hayvan gübrelerinin % 65 olduğu geri kalan kısmın meralarda kaybolduğu kabul edilmiştir [12-13]. Ayrıca bir ton yaş kanatlı gübresinden yılda 78 m³ biyogaz, bir ton yaş sığır gübresinden yılda 33 m³ biyogaz ve 1 ton koyun gübresinden ise yılda 58 m³ biyogaz elde edileceği kabul edilmiştir [12-13]. Hayvansal atıkların ısı değeri 22,7 MJ/m³ olarak [13] ve 1m³ biyogaz 4,70 kWh enerji olarak alınmıştır [5].

Mardin ili 2020 yılı İl Tarım ve Orman Müdürlüğü verilerine göre, hayvan sayılarının ilçelere göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mardin ili 2020 yılı hayvan sayıları

İLÇE	BÜYÜKBAŞ	KÜÇÜKBAŞ	KANATLI	TOPLAM
Artuklu	5 753	114 464	495 350	
Midyat	17 424	71 648	568 214	
Kızıltepe	9 750	96 031	267 000	
Nusaybin	9 096	122 527		
Mazıdağı	8 140	160 722		
Derik	48 637	330 654		
Savur	7 885	97 296		
Ömerli	2 359	21 514		
Dargeçit	8 147	42 048		
Yeşilli	1 134	47 070	352 920	
TOPLAM	118 325	1 103 974	1 683 484	2 905 783



Şekil 1. İl genelindeki toplam hayvan sayılarının ilçe bazında dağılımı

Bulgular ve Tartışma

Kanatlı hayvancılığın yüksek sayıda yetiştirildiği Mardin’de yüksek oranda yumurta tavukçuluğu yapılmaktadır. Bunun yanında küçükbaş hayvancılığı da önemli bir yer tutmaktadır. Büyük ölçüde mera hayvancılığı yapılan küçükbaş türleri olarak; koyun ve keçi beslenmektedir. Diğer taraftan büyükbaş besi hayvancılığı da gittikçe artış göstermektedir. İlin hayvan varlığı, ilçelere göre Tablo.1’de gösterilmiştir.

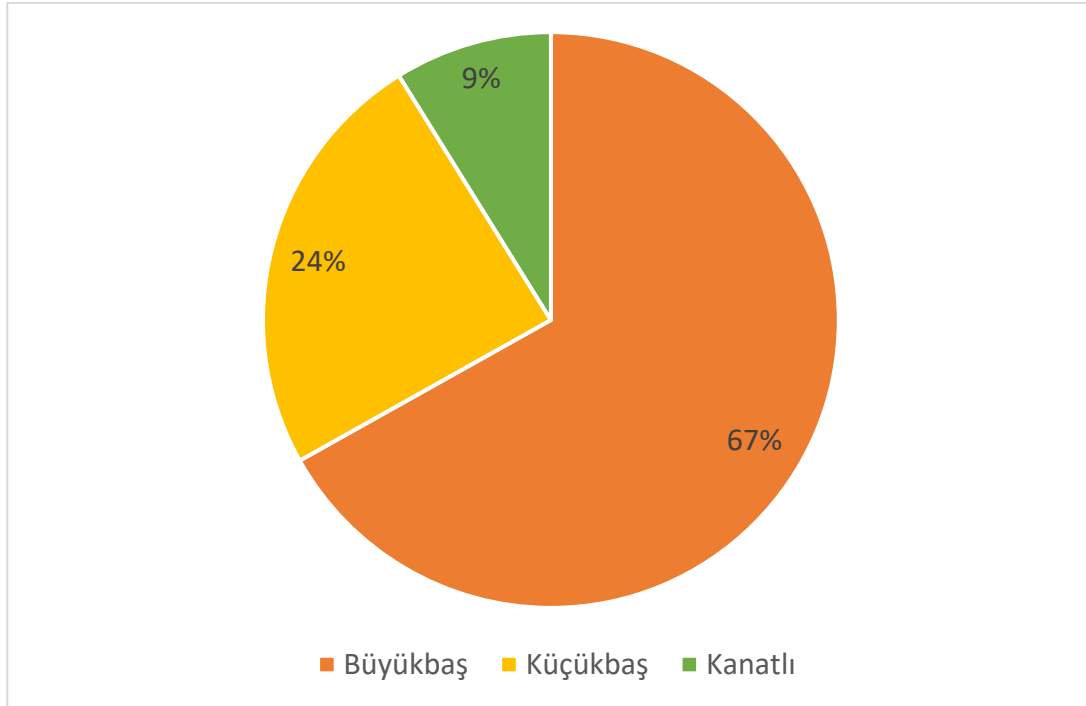
Tablo.1 verilerine göre Mardin İli genelinde toplamda 2905783 adet hayvan yaşadığı

görülmektedir. Şekil.1’e göre Artuklu, Midyat, Kızıltepe ve Yeşilli’de kanatlı hayvanların yoğun olduğu, Küçükbaş hayvanların da dağlık kesimden oluşan Derik, Mazıdağ ve Artuklu ilçelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Büyükbaş olarak da en fazla Derik ilçesinde bulunmaktadır.

Araştırmada, hayvan sayılarına göre elde edilebilir atık miktarı hesaplanmış ve Tablo.2’de gösterilmiştir. Bu tabloya göre; Mardin İlindeki atık miktarı yıllık 414008 tondur. Şekil 2’ye göre, bu atığın büyük çoğunluğu (yaklaşık 4/6’sı) büyükbaş hayvan gübresinden elde edilmektedir. İlçeler bazında da yarısından fazlası Derik’ten sağlanmaktadır. Diğer ilçelerde ise durum, yakın miktarlarla birbirini takip etmektedir.

Tablo 2. Hayvan sayısına göre elde edilebilir atık miktarları

İLÇE	BÜYÜKBAŞ Atık Miktarı (ton/yıl)	KÜÇÜKBAŞ Atık Miktarı (ton/yıl)	KANATLI Atık Miktarı (ton/yıl)	TOPLAM Atık Miktarı (ton/yıl)
Artuklu	13 462	10 416	10 789	34 667
Midyat	40 772	6 520	12 376	59 668
Kızıltepe	22 815	8 739	5 815	37 369
Nusaybin	21 285	11 150		32 435
Mazıdağ	19 048	14 626		33 673
Derik	113 811	30 090		143 900
Savur	18 451	8 854		27 305
Ömerli	5 520	1 958		7 478
Dargeçit	19 064	3 826		22 890
Yeşilli	2 654	4 283	7 687	14 624
TOPLAM	276 881	100 462	36 666	414 008



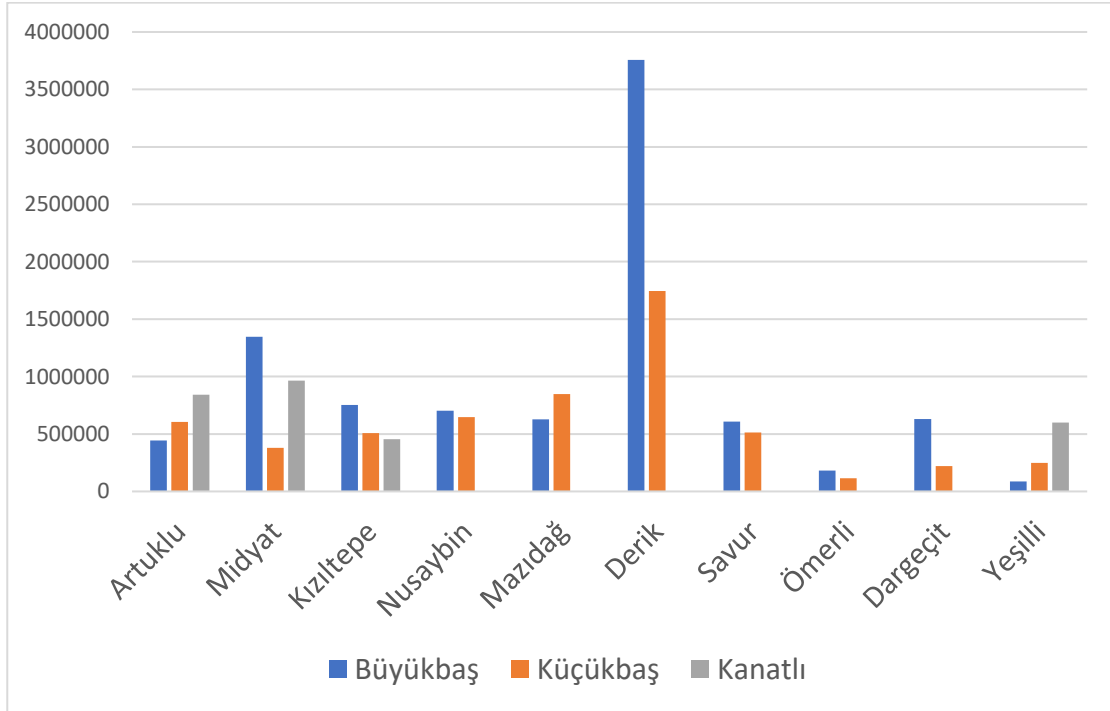
Şekil 2. Hayvan türüne göre atık miktarı

Kullanılabilir atık miktarından hesaplanan İl genelinde üretilebilecek biyogaz potansiyeli Tablo.3'te verilmiştir. Verilere göre yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı 177823801 m³'tür. Bu değer yaklaşık yarısı büyükbaş hayvan atığından elde edilmektedir. Geri kalan

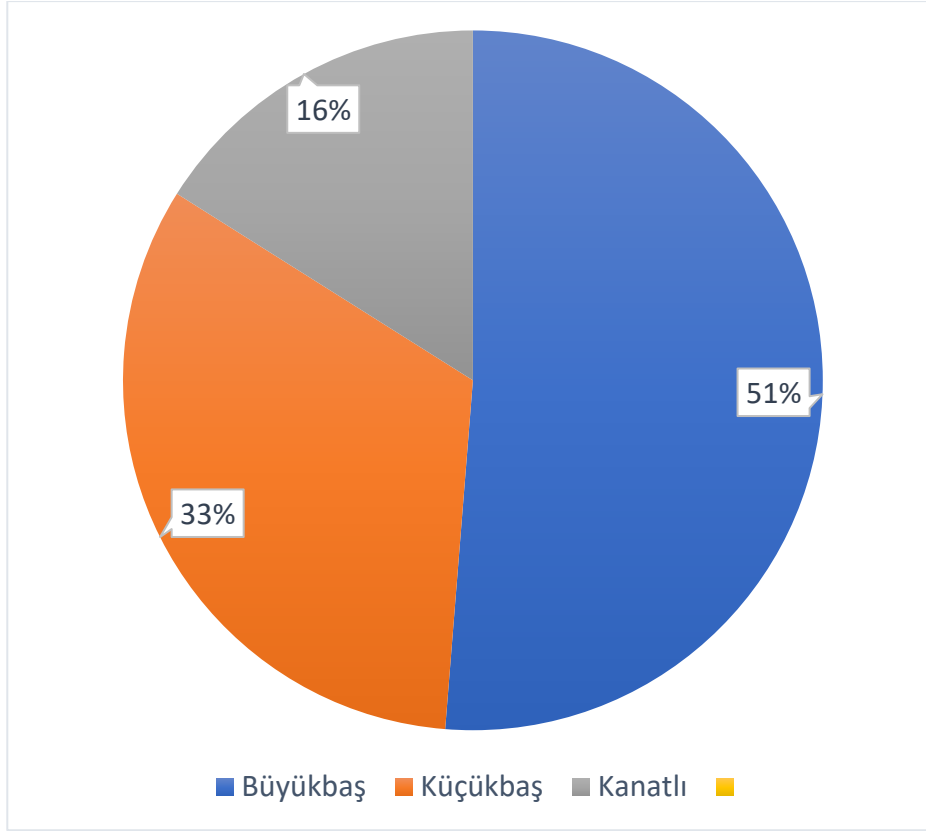
%33'ü küçükbaş ve %16'sı da kanatlı hayvanlardan sağlanmaktadır. Bu durum Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 3'te ilçe bazında en büyük biyogaz potansiyelinin Derik ilçesi olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Hayvanların yılda ürettikleri gübre miktarlarına göre biyogaz üretimi

İLÇE	BÜYÜKBAŞ Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)	KÜÇÜKBAŞ Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)	KANATLI Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)	TOPLAM Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)
Artuklu	444 247	604 141	841 520	1 889 908
Midyat	1 345 481	378 158	965 305	2 688 944
Kızıltepe	752 895	506 852	453 590	1 713 337
Nusaybin	702 393	646 698		1 349 091
Mazıdağ	628 571	848 391		1 476 862
Derik	3 755 749	1 745 192		5 500 941
Savur	608 880	513 528		1 122 408
Ömerli	182 162	113 551		295 713
Dargeçit	629 111	221 929		851 041
Yeşilli	87 567	248 435	599 555	935 558
TOPLAM	9 137 057	5 826 775	2 859 970	17 823 801



Şekil 3. İlçeler bazında ve hayvan türüne göre biyogaz üretim potansiyeli



Şekil 4. Hayvan atıklarından elde edilebilir biyogaz potansiyeli

İlin biyogaz enerji potansiyelinin enerji kaynaklarındaki karşılığı Tablo 4'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde; biyogaz potansiyelinin

yıllık 404600 GJ ve günde 229512 kWh elektrik enerjisine eşit olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Toplam yıllık elde edilebilir enerji potansiyeli ve günlük elektrik enerjisi eşdeğeri

Hayvan Türü	Elde Edilebilir Enerji Potansiyeli (GJ/yıl)	Elektrik Enerjisi Eşdeğeri (kWh/gün)
Büyükbaş	207 411	117 655
Küçükbaş	132 268	75 030
Kanatlı	64 921	36 826
TOPLAM	404 600	229 512

Sonuç

Ülkemiz, iklimsel özellikleri nedeniyle tarım ve hayvancılık konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler arasında bulunmasından dolayı enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Yerli enerji

kaynaklarının araştırılması enerji güvenliği için önem arz etmektedir. Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisinin ülkemiz için önemli bir kaynak olduğu görülmektedir. Biyokütleden de biyogaz elde edilmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Özellikle atıksu arıtma çamurları, hayvansal ve bitkisel atıklar önemli bir biyogaz potansiyeli oluşturmaktadır.

Mardin ilinin iki ülkenin sınır şehri olması, hayvancılık, tarım ürünlerinin yoğun şekilde üretildiği ve iklim koşullarının uygun olduğu değerlendirildiğinde üretilen biyogazın bölgeye katkı sağlayacağı aşikârdır. Bu kapsamda bu çalışmada ilimizin hayvan sayısı kapasitesine göre biyogaz potansiyeli ve enerji eşdeğeri hesaplanmıştır.

Araştırmada hayvan sayısından yola çıkıldığında Mardin İlindeki biyogaz potansiyeli ve enerji eşdeğeri bulunmuştur. Buna göre ilin hayvan sayısına göre elde edilebilir yıllık 177823801 m³ biyogaz potansiyeli olduğu görülmektedir. Bunun da elde edilebilir enerji potansiyeli yıllık 404600 GJ ve elektrik enerjisi eşdeğeri günde 229512 kWh'tır. İlçeler bazında da en yüksek elde edilebilir biyogaz potansiyeli Derik'te görülmektedir.

Sonuç olarak; Mardin ilinde kurulacak biyogaz tesisinin hem ekonomik hem de enerji güvenliği açısından başta bölge olmak üzere Türkiye'ye önemli katkılar getireceği nettir. Kurulacak tesisin, Artuklu-Derik-Kızıltepe ilçeleri arasında kurulmasının ise pek çok konuda uygunluk gösterdiği söylenebilir.

Kaynaklar

[1] As Koç, "Ankara – Polatlı biyogaz enerji santrali, Sakarya mah. 102-1 ve 117-40 parsellere ait 1/1000 ölçekli imar plan değişikliği plan açıklama raporu", (2020)

[2] Ankara Üniversitesi, Gama Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi, Elektrik Enerji Santralleri, 12. hafta ders notları URL: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/63672/mod_resource/content/0/12.%20HAFTA.pdf (Erişim zamanı: Aralık, 12, 2020)

[3]URL:http://deneysan.com/Content/images/documents/es-07_182760.pdf (Erişim zamanı: Aralık, 12, 2020)

[4] M. Yılmaz, "Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi", (Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi) 4(2), 33-54 (2012).

[5] H. Çelikkaya, "Biyogaz" Fırat Kalkınma Ajansı, (2016)

[6] Cemre Görmüş, "Türkiye' deki hayvan gübrelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi", Yüksek Lisans tezi, Tekirdağ Namik Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2018.

[7] Harran Üniversitesi, URL: http://web.harran.edu.tr/assets/uploads/other/files/muhendis/files/B%C4%B0T%C4%B0RME_POS TER_en_son.pdf (Erişim zamanı: Aralık, 12, 2020)

[8] J. Gülen and H. Arslan "Biyogaz" Sigma (Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi), Sayı:2005/4, Ekim 2005.

[9] H. Yağlı and Y. Koç "Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama" (Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi) Sayı:34(3), ss.35-48, Eylül 2019

[10] Y. Noorollahi, M. Kheirrouz, H.F. Asl, H. Yousefi and A. Hajinezhad, "Biogas Production Potential from Livestock Manure in Iran," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 50, pages 748-754, October 2015.

[11] P. Abdeshahian, J. S. Lim, W. S. Ho, H. Hashim, and C.T. Lee, "Potential of Biogas Production from Farm Animal Waste in Malaysia," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 60, pages 714-723, July 2016

[12] R. Ilgar, "Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma" Doğu Coğrafya Dergisi (Atatürk Üniversitesi Dergisi) Sayı:35, s.89-106, Şubat 2016.

[13] S. Görgülü "Burdur İlinin Hayvansal ve Bazı Tarımsal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi", ECJSE (El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi), Cilt: 6, No: 3, s.543-557 Haziran 2019

A Novel Modified Lévy Flight Distribution Algorithm based on Nelder-Mead Method for Function Optimization

Ahmet Dündar¹, Davut İzci², Serdar Ekinci³, Erdal Eker^{4,*}

¹ Vocational School of Social Sciences, Muş Alparslan University, Muş, <https://orcid.org/0000-0002-2123-0564>

² Department of Electronics and Automation, Batman University, Batman, <https://orcid.org/0000-0001-8359-0875>

³ Department of Computer Engineering, Batman University, Batman, <https://orcid.org/0000-0002-7673-2553>

⁴ Accounting and Tax Department, Muş Alparslan University, Muş, <https://orcid.org/0000-0002-5470-8384>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 February 2021
Received in revised form 22 April 2021
Accepted 1 May 2021
Available online 22 June 2021

Keywords:

*Lévy flight distribution,
Metaheuristics,
Nelder-Mead algorithm,
Benchmark functions*

ABSTRACT

This paper aims to improve one of the recently proposed metaheuristic approaches known as Lévy flight distribution (LFD) algorithm by adopting a well-known simplex search algorithm named Nelder-Mead (NM) method. Three new strategies were utilized to demonstrate the improved capability of the original LFD algorithm. In the first strategy, NM was run twice as much the number of iterations of LFD after the latter completes its task. In the second strategy, NM was applied after each iterations of LFD instead of waiting for the completion of the latter. Lastly, in the third strategy, NM was applied after each iterations of LFD and run for the total number of current iterations of the latter algorithm. Well-known unimodal and multimodal benchmark functions were adopted, and statistical analysis was performed for performance evaluation. Further assessment was carried out through a nonparametric statistical test. The obtained results have shown the proposed versions of LFD algorithm provide significant performance improvement in general. In addition, the efficiency of the third strategy was found to be better for NM modified LFD algorithm which has greater balance between global and local search stages and can be used as an effective tool for function optimization.

Doi: 10.24012/dumf.955645

Introduction

The optimization techniques have been gaining a greater demand in recent decades due to the need for reliable and effective methods to deal with real-life problems that present increased complexity [1]. In addition to this fact, the increasing number of optimization problems of different fields has led the optimization techniques to be one of the major research areas [2].

Due to inherent disadvantages of deterministic techniques such as being derivative dependent and stagnating in local optimum, this field of research tends to develop different alternative

approaches that can avoid those issues and able to solve complex and nonlinear problems effectively [3]. As part of this effort, different metaheuristic algorithms have emerged [4]. The latter approaches have stochastic natures, thus, can explore entire search space by avoiding local optima [5] since they do not need the derivative information.

There are many metaheuristic algorithms which have already been used for different optimization problems [6]. Despite the existing ones and their various applications, it is still quite common to encounter with newer metaheuristics nowadays [7] which is motivated by “No free lunch theorem” [8].

* Corresponding author
Erdal Eker
✉ e.eker@alparslan.edu.tr

As stated by this theorem, there is not any single algorithm that is convenient to solve all existing optimization problems. Therefore, there is a growing appetite for developing newer algorithms that may be quite effective for some of the problems [9]. Lévy flight distribution (LFD) algorithm [10] has been developed as part of the latter effort. The wireless sensor nodes that have connections related to Lévy flight motions have inspired the development of this algorithm.

Having a balance between global and local search stages is an of important feature that make metaheuristic algorithms desired tools to tackle with various problems [3]. However, due to their stochastic nature, it may not always be feasible to offer such integrity in those algorithms. One way of dealing with this issue is to benefit from the feature of existing algorithms instead of developing new ones. Hybridization is a great choice to do so since it allows the combination of existing and complementary algorithms [11]. In this way, a new structure with balanced feature in terms of exploration and exploitation can be achieved.

In terms of LFD algorithm, it has good explorative behavior due to Lévy Flight motions, however, lacks from exploitative structure. Bearing the above discussion in mind, the LFD algorithm can be improved by adopting another complementary approach so that a novel and more capable hybrid algorithm can be obtained. To achieve such a structure, the Nelder-Mead (NM) simplex search method [12] can be used.

The latter is a well-known simplex search method which is quite capable for local search. In terms of hybridization, several examples are available in the literature which adopts NM algorithm. Some of them are firefly algorithm for optimal reactive power dispatch [13], particle swarm optimization for modeling Li-ion batteries for electric vehicles [14], Harris hawks optimization for solving design and manufacturing problems [15], ant lion optimizer algorithm for structural damage detection [16], moth flame optimization for parameter identification of photovoltaic modules [17] and artificial electric field algorithm for optimization problems [18].

Considering the discussion so far, this paper aims to develop different hybrid versions by

modifying LFD algorithm using NM method and investigate the promise of those variations for optimization problems. Therefore, three novel strategies were used to achieve NM modified LFD algorithms. All these strategies are discussed in related section of this paper.

In order to evaluate the performances of the original and the modified LFD versions, well-known benchmark functions of unimodal and multimodal features were adopted. Then, statistical analysis was performed using metrics of average, standard deviation, best and worst. Besides, all approaches, including the original LFD algorithm were ranked. In this way, the ability of the algorithms was assessed for global and local searches. Further assessment took place by performing a nonparametric statistical test known as Wilcoxon's signed-rank test to confirm the capability does not occur by chance. The obtained results have shown that hybridizing LFD algorithm with NM method provides a significant performance improvement in general as was expected. Besides, it has also been found that the efficiency is increased if the NM method is applied after each iteration of LFD algorithm and run each time for the total number of LFD algorithm's current iteration.

Lévy Flight Distribution Algorithm

Wireless sensor networks having a Lévy flight (LF) motions related connection is the main inspiration for LFD algorithm [10]. Mathematically, the LFD algorithm is initialized by calculating the Euclidean distance (E_{dist}) between adjacent nodes which determines the position replacement of sensor nodes. To locate a sensor node, LF is performed. In such a case, the sensor node is placed close to another one with lower number of neighbors or in a position that has no sensor node. The latter behavior increases the effectiveness of the exploration. Two important parameters for generating random walks are the step length and the direction of the walk. To determine the step length (sl), the following equation can be used where β is the Lévy distribution index having limits of $0 < \beta \leq 2$.

$$sl = \frac{U}{|V|^{1/\beta}} \quad (1)$$

The parameters of U and V , given in the above equation, can be determined using (2).

$$U \sim N(0, \sigma_u^2), \quad V \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (2)$$

σ_u and σ_v represent standard deviation and calculated as in (3):

$$\sigma_u = \left(\frac{\zeta(1 + \beta) \times \sin(\pi\beta/2)}{\zeta((1 + \beta)/2) \times \beta \times 2^{(\beta-1)/2}} \right)^{1/\beta}, \quad (3)$$

$$\sigma_v = 1$$

where ζ is a function having the following definition for an integer z .

$$\zeta(z) = \int_0^\infty t^{z-1} e^{-t} dt \quad (4)$$

The E_{dist} value is calculated as in (5) for the locations of adjacent agents (X_i and X_j):

$$E_{dist}(X_i, X_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5)$$

where X_i and X_j positions are represented by (x_i, y_i) and (x_j, y_j) , respectively. A pre-defined threshold value is compared with the value of E_{dist} through iterations. The positions of search agents are re-adjusted using (6) for smaller E_{dist} values than the threshold.

$$X_j(t + 1) = L_f(X_j(t), X_L, L_b, U_b) \quad (6)$$

In the above equation, t is used for the number of iterations whereas L_b and U_b denote the lowest and the highest limits of the search space. L_f function represents the sl value and the LF direction. X_L is used as LF direction since it represents the position of the agent with the lowest number of neighbors. In order to increase the exploration capability, the agent of X_j is moved towards the agent with the lowest number of neighbors using (7).

$$X_j(t + 1) = L_b + (U_b - L_b)rd() \quad (7)$$

In the above equation, $rd()$ is used to generate uniformly distributed random numbers R in a range of $[0, 1]$. The following identification helps discovering the search space with more opportunities:

$$R = rd(), C_{scalar} = 0.5 \quad (8)$$

where C_{scalar} is the comparative scalar value with R in each position update of X_j . The value of R is checked and compared with C_{scalar} . In case of smaller R values than C_{scalar} values (6)

is executed whereas (7) is used otherwise. The position of X_i is updated using (9) and (10).

$$X_i(t + 1) = T_{pos} + \alpha_1 \times T_{FitN} + rd() \times \alpha_2 \times \left((T_{pos} + \alpha_3 X_L) / 2 - X_i(t) \right) \quad (9)$$

$$X_i^{new}(t + 1) = L_f(X_i(t + 1), T_{pos}, L_b, U_b) \quad (10)$$

X_i position is calculated using (9) whereas (10) provides the final position of X_i . The solution with the best fitness value (target position) is denoted by T_{pos} . The parameters of α_1 , α_2 and α_3 are used to represent random numbers of $0 < \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \leq 10$. The following gives the total target fitness of neighbors (T_{FitN}) around $X_i(t)$ where the neighbor index and neighbor position of $X_i(t)$ are denoted by k and X_k , respectively.

$$T_{FitN} = \sum_{k=1}^{NN} \frac{D(k) \times X_k}{NN} \quad (11)$$

The total number of $X_i(t)$ neighbors is represented by NN . $D(k)$ denotes the fitness degree for each neighbor and given by (12).

$$D(k) = \frac{\delta_1(V - \text{Min}(V))}{\text{Max}(V) - \text{Min}(V)} + \delta_2 \quad (12)$$

$$V = \frac{\text{Fitness}(X_j(t))}{\text{Fitness}(X_i(t))}, \delta_1 > 0 \text{ and } \delta_2 \leq 1 \quad (13)$$

A detailed flowchart of LFD algorithm is demonstrated in Figure 1.

Nelder-Mead Method

This algorithm is a simplex search method and developed to solve nonlinear functions using gradient-free computations [19]. An optimal point of X_1 is determined by generating $p + 1$ points of X_1, X_2, \dots, X_{p+1} . Then, the respective fitness function values of $f(X_1), f(X_2), \dots, f(X_{p+1})$ are evaluated and sorted in ascending order. Four scalar coefficients of reflection (ρ), expansion (γ) contraction (β) and shrinkage (δ) are used to replace the worst point of X_{p+1} . The computed fitness values allow determination of the best (X_1), the worst (X_{p+1})

and the centroid (\bar{X}) points. To identify the reflection, X_{rf} , (14) is used:

$$X_{rf} = \bar{X} + \rho(\bar{X} - X_{p+1}) \quad (14)$$

The reflection point is expanded using (15):

$$X_{ex} = \bar{X} + \gamma(X_{rf} - \bar{X}) \quad (15)$$

where X_{ex} denotes the expansion point and replaces the worst value for $f(X_{ex}) < f(X_{rf})$. Otherwise, this point is replaced by X_{rf} . The contraction step is performed for $f(X_p) \leq f(X_{rf})$. An outer contraction (X_{outc}) is

generated using (16) to obtain the fitness value of $f(X_{outc})$ in case of $f(X_{rf}) < f(X_{p+1})$.

$$X_{outc} = \bar{X} + \beta(X_{rf} - \bar{X}) \quad (16)$$

The point of X_{p+1} is replaced by X_{outc} , then the iterations are terminated for $f(X_{outc}) \leq f(X_{rf})$. Otherwise, the shrinkage occurs in the next action. An inner contraction (X_{inc}), provided in (17), may also be constructed in the contraction step to obtain fitness of $f(X_{inc})$ for $f(X_{p+1}) \leq f(X_{rf})$.

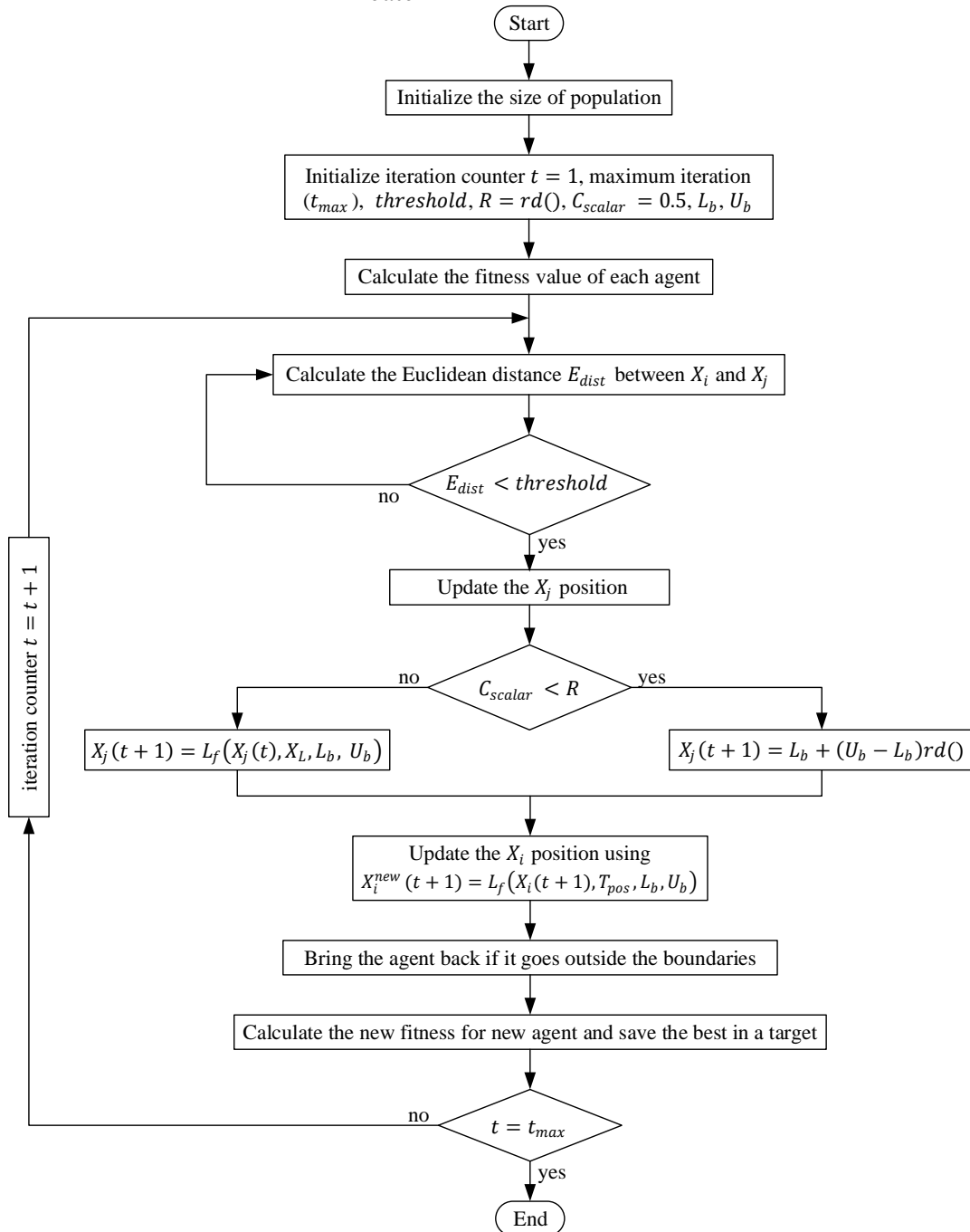


Figure 1. A detailed flowchart of LFD algorithm

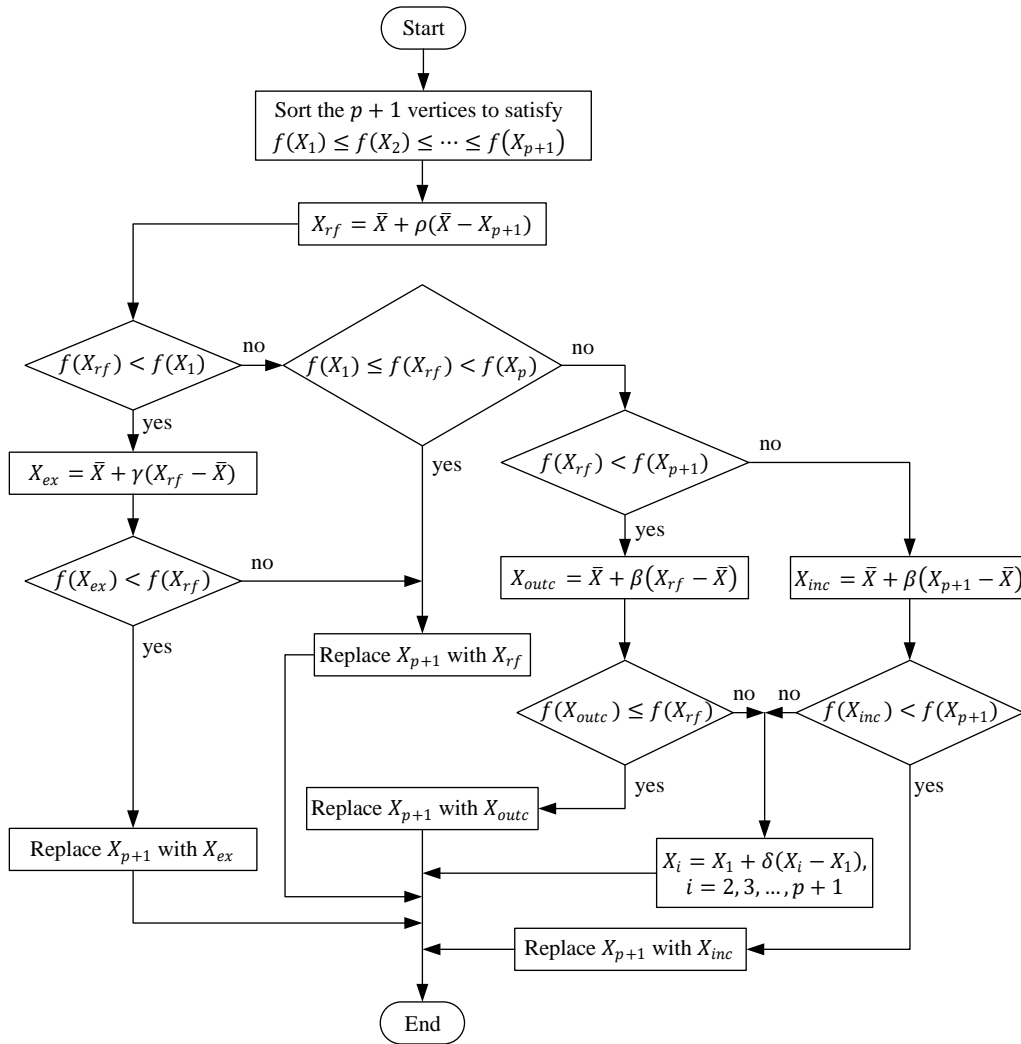


Figure 2. Flowchart of NM method

$$X_{inc} = \bar{X} + \beta(X_{p+1} - \bar{X}) \tag{17}$$

The point of X_{p+1} is replaced by X_{inc} , then the iterations are terminated for $f(X_{inc}) < f(X_{p+1})$. Otherwise, the shrinkage occurs. The shrinkage step is the final operation which constructs new points using (18).

$$X_i = X_1 + \delta(X_i - X_1), \tag{18}$$

$$i = 2, 3, \dots, p + 1$$

The flowchart of NM simplex method is provided in Figure 2.

Proposed Hybrid Strategies

This section provides information about different approaches to hybridize LFD algorithm with NM simplex search method. In order to improve

the performance of the original LFD algorithm, three different strategies were employed to adopt NM method for modifying LFD algorithm. To have a fair assessment, a dimension of 30, maximum iterations of 500 and a population size of 50 were adopted for all approaches.

In the first proposed strategy, LFD algorithm is performed. Then, the NM method is applied after LFD algorithm completes its task entirely. The NM is run twice as much the number of iterations in this strategy which means the NM is performed for 1000 iterations since the chosen number of iterations was 500. This strategy was named as LFDNM-S1.

In the second proposed strategy, unlike the first one, the NM method is applied after each iterations of LFD algorithm instead of waiting for the completion of the latter algorithm.

However, the NM method is performed for $d + 1$ iterations where d is the dimension of the problem. This strategy was named as LFDNM-S2.

The third proposed strategy is the last approach that was adopted for modifying LDF algorithm using NM method. Similar to the second strategy, the NM method is applied after each iterations of LFD algorithm in this strategy, as well. However, the implementation of NM method lasts for l iterations after each iteration of the LFD algorithm where l is the current iteration of the latter algorithm. That means, for example, the NM method would run for 10 iterations if it is implemented after the 10th iteration of LFD algorithm, and run for 11 iterations after 11th iteration of LFD algorithm and so on. The last strategy was named as LFDNM-S3.

Experiments and Discussions

The performance validation of the original and NM modified versions of LFD algorithms together with the parameter settings are presented in this section. The performances of the respective algorithms were tested using well-known four unimodal and four multimodal test functions provided in the following subsection. The algorithms were tested against each other using a set of fixed parameters for the sake of fair comparison. Therefore, a swarm size (search agents) of 50 and maximum iterations of 500 along with dimension (n) of 30 were adopted for all algorithms. Besides, each algorithm was performed on each test function for 30 independent runs.

The parameter values for LFD were chosen to be 2 for threshold, 0.5 for C_{scalar} , 1.5 for β , 10 for α_1 , 0.00005 for α_2 , and 0.005 for α_3 along with 0.9 for δ_1 and 0.1 for δ_2 [10]. In terms of NM method, the parameter values were chosen to be 1 for ρ , 2 for γ , 0.5 for β and 0.5 for δ [19].

In terms performance evaluation of the algorithms for global and local search abilities, the statistical values of average, standard deviation (Sdev), best and worst were used. Besides, the algorithms were ranked. In addition to those statistical metrics, a nonparametric statistical test known as Wilcoxon's signed-rank test [20] was also performed for further assessment of the algorithms. The adopted

statistical metrics of average, Sdev, best and worst can mathematically be defined as given in (19), (20), (21) and (22), respectively.

$$\text{Average} = \frac{\sum_{i=1}^M (f_i)}{M} \quad (19)$$

$$\text{Sdev} = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (f_i - \text{Average})^2} \quad (20)$$

$$\text{Best} = \min_{1 \leq i \leq M} f_i \quad (21)$$

$$\text{Worst} = \max_{1 \leq i \leq M} f_i \quad (22)$$

where M is the number of runs and f_i is the function fitness value.

Benchmark Functions

The following benchmark functions listed in Table 1 have been adopted for this study. The related table contains unimodal test functions of Sphere, Schwefel 2.22, Rosenbrock and Step together with multimodal benchmark functions of Schwefel, Rastrigin, Ackley and Griewank. Those are all well-known test functions with different properties and present a good environment for performance evaluation of the algorithm such that the exploitation and the exploration capabilities of the algorithm can be assessed using unimodal and multimodal functions, respectively [21].

For example, the unimodal benchmark functions have one global optimum with no local optima and are good for assessment of exploitation ability of the algorithms. On the other hand, the multimodal benchmark functions have considerable number of local optima which make them good for assessing the exploration capability of the algorithms. The properties of both unimodal (Sphere, Schwefel 2.22, Rosenbrock, Step) and multimodal (Schwefel, Rastrigin, Ackley, Griewank) benchmark functions can also be seen visually as demonstrated in Figure 3. The performance of the proposed NM modified LFD algorithms together with the original LFD algorithm was tested against each other using those benchmark functions.

In terms of implementation of the algorithms on these benchmark functions, the related search domains listed in Table 1 for the respective test functions along with a dimension of 30 for each

function were adopted. Then the population size, and number of iterations were defined, and the related algorithms were tested against those test functions in terms of statistical performance. The

results were then compared with each other. Figure 4 shows the implementation steps in brief.

Table 1. Unimodal and multimodal test functions

Name	Description	n	Search domain	Optimum
Sphere	$f_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	30	$[-100, 100]$	0
Schwefel 2.22	$f_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $	30	$[-10, 10]$	0
Rosenbrock	$f_3(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2)$	30	$[-30, 30]$	0
Step	$f_4(x) = \sum_{i=1}^n (x_i + 0.5)^2$	30	$[-100, 100]$	0
Schwefel	$f_5(x) = -\sum_{i=1}^n (x_i \sin(\sqrt{ x_i }))$	30	$[-500, 500]$	$-418.9829 \times n$
Rastrigin	$f_6(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$	30	$[-5.12, 5.12]$	0
Ackley	$f_7(x) = -20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)\right) + 20 + e$	30	$[-32, 32]$	0
Griewank	$f_8(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	30	$[-600, 600]$	0

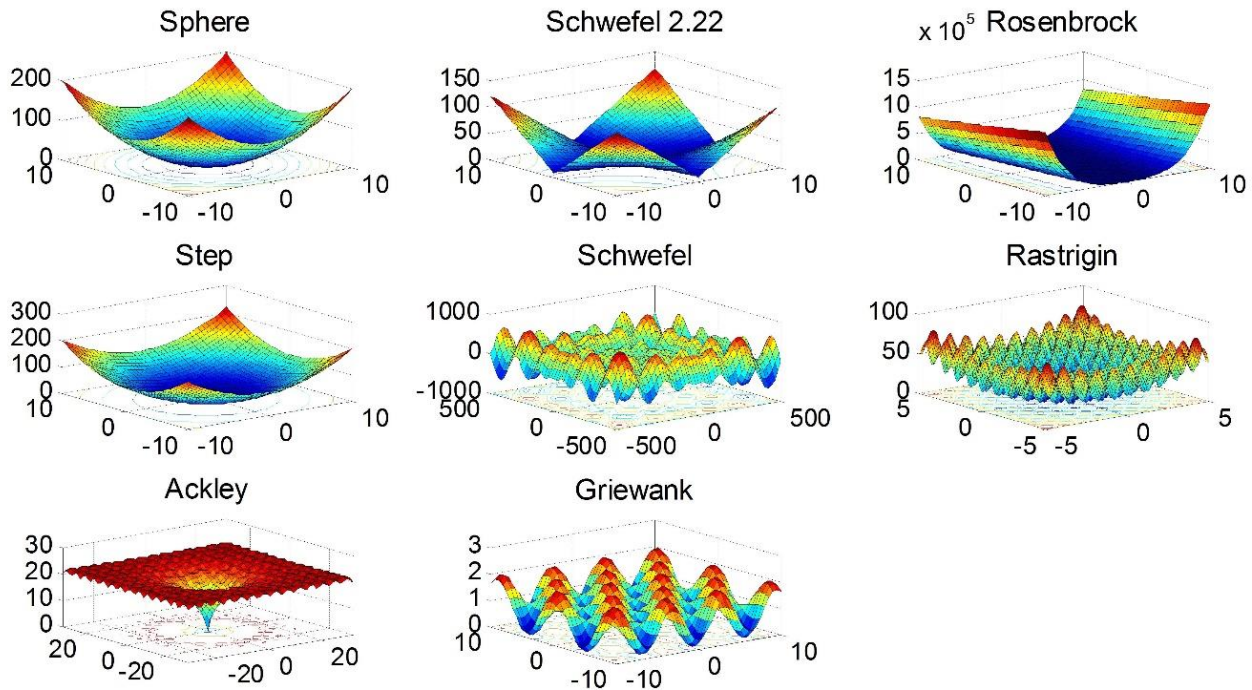


Figure 3. Surface plots of the two-variable benchmark functions used in experiment

Exploitation Capability

As mentioned in the previous subsection, the unimodal functions $f_1(x)$, $f_2(x)$, $f_3(x)$, $f_4(x)$ provided in Table 2 can help assessing the local search capability of the algorithms under consideration [22]. It can easily be spotted that the average values for all test functions obtained by the LFDNM-S3 algorithm (shown in bold) are well below the other values achieved by the other algorithms. In addition, the LFDNM-S3

algorithm has achieved better values in terms of other statistical metrics. Besides, the constructed LFDNM-S3 algorithm has also been ranked the first, as well. The obtained results clearly show the third proposed strategy for NM modified LFD algorithm has a strong competitiveness in terms of exploitation.

Exploration Capability

In terms of assessment of global search capability, the multimodal functions $f_5(x)$,

$f_6(x)$, $f_7(x)$, $f_8(x)$) provided in Table 3 can be used [22]. Similar to local search ability, the LFDNM-S3 algorithm has also achieved better results than the other algorithms in terms of all statistical metrics. Besides, the constructed LFDNM-S3 algorithm has also been ranked the first for multimodal functions, as well. The

obtained results clearly show the LFDNM-S3 algorithm's strong competitiveness in terms of exploration, as well. Considering both global and local search capabilities, it can be concluded that the third proposed strategy for improving LFD algorithm through NM method has a good balance in terms of exploration and exploitation.

Table 2. Results of the unimodal functions

Function	Measure	Basic LFD	LFDNM-S1	LFDNM-S2	LFDNM-S3
$f_1(x)$	Average	1.5220E-07	3.6282E-08	1.1919E-08	1.4697E-42
	Sdev	5.4715E-08	1.2058E-08	9.0745E-09	3.1618E-42
	Best	8.0419E-08	1.9756E-08	1.5254E-09	1.7217E-44
	Worst	2.3698E-07	5.7184E-08	3.9174E-08	1.2261E-41
	Rank	4	3	2	1
$f_2(x)$	Average	3.0625E-04	1.3472E-04	3.7902E-05	2.0705E-27
	Sdev	5.9240E-05	2.7256E-05	8.9938E-06	2.3826E-27
	Best	1.8925E-04	9.9580E-05	2.2527E-05	4.7253E-29
	Worst	3.8394E-04	2.0202E-04	6.0360E-05	9.0123E-27
	Rank	4	3	2	1
$f_3(x)$	Average	27.8977	27.0939	23.6612	0.4302
	Sdev	0.1187	0.2811	0.1142	0.1802
	Best	27.7517	26.5653	23.4629	0.2515
	Worst	28.0630	27.6308	23.8389	0.9410
	Rank	4	3	2	1
$f_4(x)$	Average	1.1480	0.5076	2.3949E-06	1.7721E-07
	Sdev	0.2349	0.2549	8.0920E-07	4.1048E-08
	Best	0.5739	0.1592	6.8912E-07	5.6266E-08
	Worst	1.4370	0.9830	4.3665E-06	2.3634E-07
	Rank	4	3	2	1

Table 3. Results of the multimodal functions

Function	Measure	Basic LFD	LFDNM-S1	LFDNM-S2	LFDNM-S3
$f_5(x)$	Average	-4.3960E+03	-7.8148E+03	-7.6089E+03	-8.2171E+03
	Sdev	283.6078	391.0008	661.1682	772.6186
	Best	-4.8243E+03	-8.3413E+03	-8.9003E+03	-9.8013E+03
	Worst	-3.8051E+03	-7.0629E+03	-6.5018E+03	-7.4562E+03
	Rank	4	2	3	1
$f_6(x)$	Average	2.8745	0.4463	0.0665	2.2578E-11
	Sdev	3.8130	0.5498	0.1319	8.6173E-12
	Best	1.5259E-05	2.9721E-06	2.0053E-06	1.2108E-11
	Worst	13.2109	1.6631	0.5054	4.3315E-11
	Rank	4	3	2	1
$f_7(x)$	Average	8.8859E-05	4.4928E-05	2.9489E-05	2.1202E-12
	Sdev	1.1628E-05	9.3227E-06	8.5630E-06	5.2423E-13
	Best	7.0401E-05	3.5371E-05	8.3122E-06	1.4611E-12
	Worst	1.0701E-04	7.3164E-05	4.2522E-05	3.0349E-12
	Rank	4	3	2	1
$f_8(x)$	Average	3.7917E-07	1.0317E-07	4.5251E-08	5.8538E-14
	Sdev	1.2776E-07	5.0798E-08	2.4069E-08	1.8298E-14
	Best	1.8918E-07	4.3454E-08	1.4857E-08	4.1078E-14
	Worst	6.7854E-07	2.0082E-07	9.5037E-08	1.0003E-13
	Rank	4	3	2	1

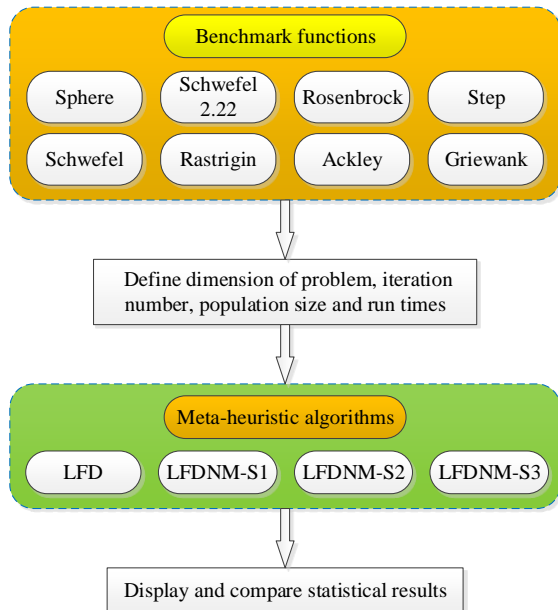


Figure 4. Optimization stage for the benchmark functions

The Wilcoxon’s Test

The Wilcoxon’s signed-rank test was used in this study as a non-parametric statistical test which was performed to have a meaningful conclusion for the performances of the proposed hybrid strategies since this test helps evaluating

the significance level between different algorithms [23]. The respective p values of the algorithms can be obtained along with the calculations of $T +$ and $T -$ related to comparisons between two algorithms using Wilcoxon’s signed-rank test. Table 4 demonstrates the respective test results on 8 benchmark functions in 30 runs for the original and the proposed NM modified LFD algorithms. In the table, the sign of ‘+’ indicates statistically significant difference, thus, better performance of the algorithm and the sign of ‘-’ indicates vice versa. In case of no statistically significant difference between the compared algorithms, the sign of ‘=’ is used.

Evaluating the demonstrated results, the LFDNM-S3 algorithm can clearly be seen to be significantly superior to the original LFD and LFDNM-S2 algorithms for all test functions. The comparison between LFDNM-S3 and the LFDNM-S1 algorithms shows no significant difference only for $f_5(x)$, however, for the rest of the functions LFDNM-S3 has clear superiority.

Table 4. Wilcoxon signed-rank test results for LFDNM-S3 vs LFD, LFDNM-S1 and LFDNM-S2

Function	LFDNM-S3 vs. LFD				LFDNM-S3 vs. LFDNM-S1				LFDNM-S3 vs. LFDNM-S2			
	p value	$T +$	$T -$	W	p value	$T +$	$T -$	W	p value	$T +$	$T -$	W
$f_1(x)$	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+
$f_2(x)$	1.7181E-06	465	0	+	1.7094E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+
$f_3(x)$	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+
$f_4(x)$	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+
$f_5(x)$	1.7344E-06	465	0	+	0.2208	292	173	=	3.0481E-04	408	57	+
$f_6(x)$	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+
$f_7(x)$	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+
$f_8(x)$	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+	1.7181E-06	465	0	+

Conclusion

In this work, novel approaches for improving the capability of the original LFD algorithm were proposed and discussed through modifications using NM method. The NM method was implemented after LFD algorithm in each of the strategies, however, by following different patterns. In the first approach, NM was run twice as much the number of iterations of LFD

algorithm after the LFD algorithm finishes its task. In the second approach, NM was run after each iterations of LFD algorithm instantly whereas for the third approach, NM was run for the total number of current iterations after each iteration of the LFD algorithm. Four unimodal and four multimodal test functions were used to observe the performance of the algorithms through statistical and nonparametric statistical analyses. The obtained results have shown the

modified versions of LFD algorithm can provide better capability in general. In addition, the efficiency of the third approach was found to be better for NM modified LFD algorithm since it has demonstrated a greater balance between exploration and exploitation phases. Therefore, the latter can be used as an effective tool for optimization problems. Bearing the obtained results in mind, the constructed algorithms have the potential to be used for several different real-life optimization problems for future works. Some of them can be listed as controlling an automatic voltage regulator system, regulating the speed of a direct current motor, and operating a magnetic levitation system.

References

- [1] L. Abualigah, A. Diabat, S. Mirjalili, M. Abd Elaziz, and A. H. Gandomi, "The Arithmetic Optimization Algorithm," *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 376, p. 113609, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.cma.2020.113609.
- [2] W. Zhao, L. Wang, and Z. Zhang, "Supply-Demand-Based Optimization: A Novel Economics-Inspired Algorithm for Global Optimization," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 73182–73206, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2918753.
- [3] D. Izci, S. Ekinici, E. Eker, and M. Kayri, "Improved Manta Ray Foraging Optimization Using Opposition-based Learning for Optimization Problems," in *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, Jun. 2020, pp. 1–6, doi: 10.1109/HORA49412.2020.9152925.
- [4] A. F. Nematollahi, A. Rahiminejad, and B. Vahidi, "A novel meta-heuristic optimization method based on golden ratio in nature," *Soft Comput.*, vol. 24, no. 2, pp. 1117–1151, 2020, doi: 10.1007/s00500-019-03949-w.
- [5] F. A. Hashim, K. Hussain, E. H. Houssein, M. S. Mabrouk, and W. Al-Atabany, "Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems," *Appl. Intell.*, 2020, doi: 10.1007/s10489-020-01893-z.
- [6] E. Eker, M. Kayri, S. Ekinici, and D. Izci, "A New Fusion of ASO with SA Algorithm and Its Applications to MLP Training and DC Motor Speed Control," *Arab. J. Sci. Eng.*, Feb. 2021, doi: 10.1007/s13369-020-05228-5.
- [7] W. Zhao, L. Wang, and Z. Zhang, "Artificial ecosystem-based optimization: a novel nature-inspired meta-heuristic algorithm," *Neural Comput. Appl.*, pp. 1–43, 2019.
- [8] D. H. Wolpert and W. G. Macready, "No free lunch theorems for optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 67–82, 1997, doi: 10.1109/4235.585893.
- [9] D. Izci and S. Ekinici, "Comparative Performance Analysis of Slime Mould Algorithm For Efficient Design of Proportional–Integral–Derivative Controller," *Electrica*, vol. 21, no. 1, pp. 151–159, Jan. 2021, doi: 10.5152/electrica.2021.20077.
- [10] E. H. Houssein, M. R. Saad, F. A. Hashim, H. Shaban, and M. Hassaballah, "Lévy flight distribution: A new metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 94, p. 103731, 2020, doi: 10.1016/j.engappai.2020.103731.
- [11] S. Ekinici, D. Izci, and B. Hekimoğlu, "Optimal FOPID Speed Control of DC Motor via Opposition-Based Hybrid Manta Ray Foraging Optimization and Simulated Annealing Algorithm," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 46, no. 2, pp. 1395–1409, Feb. 2021, doi: 10.1007/s13369-020-05050-z.
- [12] J. A. Nelder and R. Mead, "A Simplex Method for Function Minimization," *Comput. J.*, vol. 7, no. 4, pp. 308–313, Jan. 1965, doi: 10.1093/comjnl/7.4.308.
- [13] A. Rajan and T. Malakar, "Optimal reactive power dispatch using hybrid Nelder-Mead simplex based firefly algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 66, pp. 9–24, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.10.041.
- [14] T. Mesbahi, F. Khenfri, N. Rizoug, K. Chaaban, P. Bartholomeüs, and P. Le Moigne, "Dynamical modeling of Li-ion batteries for electric vehicle applications based on hybrid Particle Swarm–Nelder–Mead (PSO–NM) optimization algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 131, pp. 195–204, 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.10.018.
- [15] A. R. Yıldız, B. S. Yıldız, S. M. Sait, S. Bureerat, and N. Pholdee, "A new hybrid Harris hawks–Nelder–Mead optimization algorithm for solving design and manufacturing problems," *Mater. Test.*, vol. 61, no. 8, pp. 735–743, Aug. 2019, doi: 10.3139/120.111378.
- [16] C. Chen and L. Yu, "A hybrid ant lion optimizer with improved Nelder–Mead algorithm for structural damage detection by improving weighted trace lasso regularization," *Adv. Struct. Eng.*, vol. 23, no. 3, pp. 468–484, Sep. 2020, doi: 10.1177/1369433219872434.
- [17] H. Zhang, A. A. Heidari, M. Wang, L. Zhang, H. Chen, and C. Li, "Orthogonal Nelder-Mead moth flame method for parameters identification of photovoltaic modules," *Energy Convers. Manag.*, vol. 211, p. 112764, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112764.
- [18] D. Izci, S. Ekinici, S. Orenc, and A. Demiroren, "Improved Artificial Electric Field Algorithm Using Nelder-Mead Simplex Method for Optimization Problems," in *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative*

- Technologies (ISMSIT)*, Oct. 2020, pp. 1–5, doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9255255.
- [19] J. C. Lagarias, J. A. Reeds, M. H. Wright, and P. E. Wright, “Convergence properties of the Nelder-Mead simplex method in low dimensions,” *SIAM J. Optim.*, vol. 9, no. 1, pp. 112–147, 1998, doi: 10.1137/S1052623496303470.
- [20] W. Zhao, L. Wang, and Z. Zhang, “Atom search optimization and its application to solve a hydrogeologic parameter estimation problem,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 163, pp. 283–304, 2019, doi: 10.1016/j.knosys.2018.08.030.
- [21] M. Jamil and X. S. Yang, “A literature survey of benchmark functions for global optimisation problems,” *Int. J. Math. Model. Numer. Optim.*, vol. 4, no. 2, pp. 150–194, 2013, doi: 10.1504/IJMMNO.2013.055204.
- [22] W. Zhao, Z. Zhang, and L. Wang, “Manta ray foraging optimization: An effective bio-inspired optimizer for engineering applications,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 87, p. 103300, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.engappai.2019.103300.
- [23] N. Zhang, C. Li, R. Li, X. Lai, and Y. Zhang, “A mixed-strategy based gravitational search algorithm for parameter identification of hydraulic turbine governing system,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 109, pp. 218–237, 2016, doi: 10.1016/j.knosys.2016.07.005.

Sinh-ortam süzgeçlerinin biyomedikal uygulama örneklerinin incelenmesi

*Review of biomedical application examples of sinh-domain filters*Fatma Zuhul Adalar^{1*}, Ali Kırçay²¹ Harran Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, fadalar@harran.edu.tr² Harran Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, kircay@harran.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 31 Mart 2021

Düzeltilme: 26 Mayıs 2021

Kabul: 28 May 2021

Anahtar kelimeler:

Sinh-ortam, biyomedikal, düşük güç/gerilim, sıkıştırma-genişletme süzgeçleri, ELIN sistemler

ÖZET

Bu çalışmada sinh-ortam süzgeçlerinin biyomedikal uygulama örneklerinin bir incelemesi sunulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde yaşam standartlarının artması, düşük maliyetli ve pratik sağlık çözümleri ihtiyaçlarının bir araya gelmesi biyomedikal sistemlerin ilerleme hızını belirlemektedir. Günümüz biyomedikal sistemlerinin tasarım stratejileri, daha yüksek hız ve geniş dinamik aralık elde etmeye, daha düşük güç tüketimine ve taşınabilir tasarım sağlamaya yöneliktir. Bu nedenle, düşük besleme gerilimde geniş bir dinamik aralık sunma, doğrusallık ve düşük güç tüketimi sağlama, frekans karakteristiğinin elektronik olarak ayarlanması, küçük çip alanı gereksinimi gibi olumlu özelliklere sahip olan sinh-ortam süzgeçleri, son derece düşük güç dağılımı gerektiren biyomedikal uygulamalar için gittikçe önem kazanmaktadır. Elektroensefalogram (EEG), Elektrokardiyogram (EKG) ve Elektromiyogram (EMG) gibi düşük voltaj büyüklüğüne ve düşük frekansa sahip ana biyomedikal sinyallerin alınması sırasında bazı istenmeyen sinyaller oluşmaktadır. Bu istenmeyen sinyallerin biyopotansiyel sinyalden uzaklaştırılması için sinyalin özelliklerine göre çeşitli süzgeçleme işlemleri gerçekleştirilir. Bu çalışmanın konusu, biyomedikal uygulamalar için literatürde önerilen düşük güçlü ve düşük gerilimli sinh-ortam süzgeçlerinin incelenmesidir.

Doi: 10.24012/dumf.955658

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 March 2021

Revised: 26 May 2021

Accepted: 28 May 2021

Keywords:

Sinh-domain, biomedical, low voltage/power, companding filters, ELIN systems

ABSTRACT

In this study, a review of biomedical application examples of sinh-domain filters is presented. Increasing living standards in developed countries and the combination of low-cost and practical health solutions determine the progress of biomedical systems. The design strategies of today's biomedical systems are aimed at achieving higher speed and wide dynamic range, lower power consumption and portable design. Therefore, sinh-domain filters, which have positive properties such as offering a wide dynamic range at low supply voltage, electronically adjusting the frequency characteristic, providing linearity and low power consumption, and the requirement for small chip area, are becoming increasingly important for biomedical applications that require extremely low power dissipation. During the acquisition of main biomedical signals with low voltage magnitude and low frequency, such as Electroencephalogram (EEG), Electrocardiogram (ECG) and Electromyogram (EMG), some unwanted signals occur. In order to remove these unwanted signals from the biopotential signal, various filtering processes are performed according to the characteristics of the signal. The subject of this study is to examine the low power and low voltage sinh-domain filters recommended in the literature for biomedical applications.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Fatma Zuhul ADALAR

✉ fadalar@harran.edu.tr

Giriş

Analog sinyal işlemenin önemli yapı taşlarından biri sürekli zaman süzgeçleridir. Elektronik alanlarda hem pasif hem de aktif süzgeçler kullanılmaktadır ancak pasif süzgeçlerin ayarlanabilirlik özelliği olmadığından entegrasyona uygun değildir. Son zamanlarda, ayarlanabilir aktif süzgeçler büyük ilgi görmektedir ve performanslarının geliştirilmesi için sürekli iyileştirilmektedir. Analog tasarımlar daha önce gerilim ağırlıklı sinyal işleme biçimi olarak görülmekteydi. İlerleyen yıllarda akım-modlu elemanların ortaya çıkmasıyla araştırmacılar akım-modlu devrelere ilgi göstermeye başlamıştır. Akım-modlu sinyal işleme devrelerinin geniş bant genişliği, geniş dinamik aralık, düşük besleme gerilimleriyle çalışma, düşük güç tüketimi ve akım modlu devre yapı bloklarının basitliği gibi özelliklerinden dolayı gerilim-modlu devrelere göre tercih edilebilir olduğu görülmüştür. Analog sinyal işlemeyi gerçekleştirmek için önemli bir kavram ELIN (Externally Linear Internally Nonlinear) yani doğrusal davranışlı doğrusal olmayan sistemlerdir. Bu sistemler; akım modlu tasarlanabilmelerine bağlı olarak yüksek hızlıdır, yüksek doğrusallıktır, tasarım için sadece transistör ve kondansatörlere ihtiyaç vardır, düşük gerilim/düşük güç tüketimi sağlar, geniş dinamik aralığa ve düşük üretim maliyetine sahiptir. Companding süzgeçler bu kategoriye aittir. İngilizce'de sıkıştırma (compressing) ve genişletme (expanding) kelimelerinin birleştirilmesi ile elde edilen companding devreleri düşük gerilim/güç tüketimi ve yüksek frekanslı analog sistemler için oldukça faydalıdır. Sıkıştırma-genişletme (companding) devreleri düşük gerilimde çalışma kabiliyetine sahiptir. Bu durum sıkıştırılmış sinyallerle işlem yapılmasından kaynaklanır. Sıkıştırma-genişletme tekniğinin sunduğu avantajlar: entegre edilebilir tasarım, düşük gerilimli uygulama, yalnızca topraklanmış bileşenlerin kullanılması ve direnç ve bobin kullanılmaması olarak sıralanabilir.

Sıkıştırma-genişletme devreleri, logaritmik-ortam, karekök-ortam ve sinh-ortam devreleri olmak üzere üç ana sınıfa ayrılır. Logaritmik-ortam devreleri BJT'lerin beyz-emiter gerilimi

(V_{BE}) ve kollektör akımı (I_C) arasındaki üstel bağıntıya ve translineer özelliğine dayanmaktadır. İlk olarak 1979 yılında Adams tarafından tanıtılan alçak geçiren süzgeç, doğrusal transfer fonksiyonunun durum uzay tanımlamasının durum değişkenleri üzerindeki doğrusal olmayan (üstel) dönüşümüdür [1]. 1990 yılında Seevinck tarafından logaritmik-ortam devrelerinin özel bir türü olan AB-sınıfı translineer integratör önerilmiştir [2]. Frey 1993 yılında logaritmik-ortam süzgeçlerinin tam teorisini sunmuştur [3]. 1994 yılında Toumazou ve ark. tarafından zayıf evirtim bölgesinde çalışan MOSFET'leri içeren logaritmik-ortam süzgeçleri sunulmuştur [4]. Bu devrelerin en önemli dezavantajı, çalışma frekanslarının sınırlı oluşu ve bu dezavantajın transistörlerin uyumsuzluk durumuna neden olmasıdır. Bundan dolayı süzgeçler ve integratörler Eskiye'li ve ark. tarafından 1996'da doyum bölgesinde çalışan MOSFET'ler kullanılarak tasarlanmıştır [5]. Bu devreler MOSFET'in savak akımı (I_D) ve kapı-kaynak gerilimi (V_{GS}) arasındaki karesel bağıntıya ve MOSFET'in translineer özelliğine dayanmaktadır. Tasarım topolojisine göre bu devrelere karekök-ortam devreleri adı verilmiştir. Aktif bölgedeki BJT ya da zayıf evirtim bölgesindeki MOSFET tarafından oluşturulan translineer döngüler tarafından gerçekleştirilen hiperbolik sinüs fonksiyonu ile oluşturulan devrelere ise sinh-ortam devreleri denmektedir [6]-[14], [16]-[17], [19]-[20], [23]-[58]. Sinh-ortam süzgeçleri ilk olarak Frey tarafından 1993'te önerilmiştir [6]. Frey'in 1993 yılında yapmış olduğu çalışmada doğrusal giriş-çıkış tepkisine sahip yeni bir doğrusal olmayan analog süzgeç sınıfı önerilmiştir. Exponential State Space (ESS, Üstel Durum Uzayı) süzgeçleri denilen bu süzgeçler [3]'te tanıtılan logaritmik-ortam süzgeçlerinin bir uzantısı olarak sunulmuştur. ESS süzgeç sınıfının kondansatörler, akım kaynakları ve bipolar transistörlerden oluşan doğrusal olmayan devreler sınıfını temsil ettiğine değinilmiş ve süzgecin denklemlerinin doğrusal sistemlerde durum uzayında eşlemeler için hiperbolik fonksiyonlar kullanılarak elde edildiği gösterilmiştir. Bu çalışmada ESS süzgeçlerinin birinci sınıfını oluşturan logaritmik-ortam süzgeçlerinden sonra ikinci bir sınıf olan tanh fonksiyonu kullanılarak tanh süzgeçleri ve üçüncü bir sınıf olan sinh fonksiyonu kullanılarak sinh süzgeçleri üretilmiştir ve devre

uygulamaları önerilmiştir. Bu süzgeçleri gerçekleştirmek için iki temel alt devre kullanılmıştır. Bu alt devreler T-hücresi ve S-hücresidir. T-hücresi ve S-hücresi gerekli hiperbolik fonksiyonları uygulanması işlevini yapmaktadır. Verilen tasarımların, bu ESS süzgeçlerinin incelenmesi için çok iyi başlangıç noktası olacağı düşünülmüştür. Daha sonra Mulder ve ark. tarafından 1997'de yapılan çalışmada dinamik translineer devreler konusunda genel bir bakış sunulmuştur [7]. Doğrusal ve doğrusal olmayan uygulamalar için elde edilen son teknoloji sonuçlara ve analiz ve sentez yöntemlerine ağırlık verilmiş; yapılandırılmış tasarım yöntemlerine ve ilkelerine vurgu yapılmıştır. Statik ve dinamik translineer ilkeleri gözden geçirilmiş, analiz yöntemlerine genel bakış yapılmış, logaritmik, tanh, sinh ve karekök-ortam süzgeçleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar açıklanmış, birkaç sentez yöntemi sunulmuş ve son olarak, o zamana kadar elde edilen en son teknoloji sonuçlara genel bir bakış sunulmuştur. İlk olarak Frey tarafından [3] süzgeçleme için önerilen AB-sınıfı companding sistemlerin bir örneği olan sinh sistemler [8]'de incelenmiştir. Sinh sistemlerini elde etmek için genel bir sentez yöntemi sağlanmış ve daha sonra, bu şekilde elde edilen bir sinh-ortam ikinci dereceden filtre analiz edilmiştir. Uygulamaları açıkça diferansiyel olmamasına rağmen, AB-sınıfı diferansiyel sistemler olarak tanımlanabildikleri gösterilmiştir. Sinh süzgeçleri, Frey tarafından [9]'da önerilen ESS süzgeçlerinin ayırt edici bir dalımı oluşturmaktadır. Tsividis, ESS topolojilerini ELIN olarak adlandırılan daha geniş bir ağ sınıfının bir parçası olarak sınıflandırmıştır [10].

Sinh süzgeçleri doğası gereği AB-sınıfıdır ve yüksek dinamik aralık ve muhtemel biyomedikal uygulamalar için potansiyele sahiptirler. Zayıf evirtim bölgesindeki MOSFET'in üstel akım-gerilim ilişkisini kullanarak sentezlenen sinh süzgeçlerinin potansiyelinin değerlendirilmesi [11]'de yapılmıştır. Yapılan çalışmada 0.35 μm AMS (Austria Micro Systems) işlem parametreleri kullanılarak oluşturulan ikinci dereceden alçak geçiren, ikinci dereceden bant geçiren ve üçüncü dereceden butterworth alçak geçiren CMOS sinh süzgeç devrelerinin güç tüketimi, ayarlanabilirlik ve doğrusallık benzetim sonuçları verilmiştir. Tasarlanan tüm

süzgeçler, biyomedikal uygulamalar için özel bir bölge olan Hz-kHz aralığında ayarlanmıştır. Bu frekans aralığında süzgeçlerin güç tüketiminin nW seviyesinde olduğu görülmüştür. Frey'in durum değişkeni eşleme prosedürü takip edilmiş, devrelerin tasarımında T-hücresi ve S-hücresi kullanılmıştır. [12]'de ise yeni bir ultra-düşük güçlü AB-sınıfı sinh integratör önerilmiştir. Kayıplı integratör, zayıf evirtim bölgesindeki CMOS transistörler kullanılarak standart 0.35 μm CMOS teknolojisi ile benzetimi yapılmış ve 1.5 V (± 0.75 V) besleme gerilimi ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada ilk olarak companding sinh intergatörün genel blok diyagramı verilmiş, daha sonra önerilen integratörün CMOS uygulaması verilmiştir. Önerilen integratörde, yalnızca bir topraklanmış kondansatör kullanıldığı, mevcut logaritmik-ortam AB-sınıfı uygulamalarına kıyasla mükemmel güç verimliliği gösterdiği ve önemli ölçüde çip alanı tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bu çalışmadan sonra yeni bir akım modlu, companding, AB-sınıfı, sinh kayıplı integratör önerilmiştir [13]. [12]'de yapılan integratör devresine göre yeniliği tek tip eleman kullanılması ve devre topolojisinin farklı olmasıdır. Ayrıca, bu çalışmada, sinyal işleme yolunda yalnızca tek bir eleman türünün kullanılmasıyla yüksek performanslı bir sinh kayıplı integratörünün oluşturulabileceğini ilk kez göstererek ELIN/ESS devre araştırma alanına katkı sağlanmıştır. Devre 0.35 μm AMS CMOS parametreleri kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan kayıplı integratör, 0.3 μW güç tüketimi yapmıştır ve dinamik giriş aralığının yalnızca bir entegre kondansatör ile 120dB'den büyük olduğu görülmüştür. Harmonik ortalama yasasına dayanan, yeni, pratik, düşük güçlü, AB-sınıfı, companding sinh integratörü ise [14]'te sunulmuştur. Zayıf evirtim bölgesinde çalışan MOSFET'ler düşük güç ve düşük besleme gerilimi işlemi için kullanılmıştır. Tüm translineer döngüler, standart twin-well CMOS işlemlerinde imalata izin veren tek tip elemanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan bazı kavramlar daha önce [15]'de sunulmasına rağmen, ilk defa böyle bir devre, zayıf evirtimde MOSFET'ler kullanılarak gerçekleştirilmiş; THD, dinamik giriş aralığı ve frekans ayarlanabilirliği ile ilgili ayrıntılı benzetim sonuçları verilmiş ve HML (Harmonic Mean Law, Harmonik Ortalama Yasası) sinh integratörü ile bir GML (Geometric Mean Law,

Geometrik Ortalama Yasası) sinh integratörünün [13] aynı cihaz boyutları ve besleme koşulları altında bir karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar HML sinh integratörünün çok yüksek bir dinamik aralık performansı ile kendi başına uygulanabilir bir uygulama olduğunu göstermiştir. Sinh-ortamda sunulan integratör devrelerinden sonra yüksek dinamik aralık, düşük güç, CMOS sinh companding süzgeçlerin sentez ve transistör düzeyinde uygulanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir [16]. Özellikle, yüksek dereceli süzgeç yapıları için temel yapı taşı olarak işlev görebilecek olan daha önce önerilen bir sinh integratörü [13] hakkında detaylı teknik bilgiler sunulmuştur. Sinh-ortamın logaritmik-ortam eşdeğeri ile kıyaslanmasına ışık tutmak için, pseudo-diferansiyel AB-sınıfı logaritmik-ortam integratörü ile ayrıntılı bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu çalışma, pseudo-diferansiyel logaritmik-ortam integratörüyle kıyaslanabilir bir sinh integratörünü ilk kez sunarak ESS, ELIN alanını ilerlemesine katkı sağlamıştır. Tablo 1, sinh integratörlerin ilgili performanslarını özetlemektedir. Tablo 1'de belirtilen performans faktörleri göz önüne alındığında dinamik giriş aralığının en yüksek olduğu çalışmanın [16], toplam kapasitans değerinin ve güç tüketiminin en düşük olduğu çalışmanın ise [12] olduğu görülmektedir.

Sinh-ortamda süzgeçleme

Sinh-ortamda süzgeçleme, sürekli-zaman AB-sınıfı akım-modlu analog filtreleri gerçekleştirmek için çok çekici bir tekniktir. Bu yaklaşıma göre, giriş akımı ilk önce ters hiperbolik sinüs ifadesi vasıtasıyla sıkıştırılmış bir gerilime dönüştürülür. Sonuç olarak, giriş akımının hem pozitif hem de negatif değerleri için daha iyi bir sıkıştırma elde edilir, bu da

logaritmik-ortam filtrelerinde ters üstel fonksiyon tarafından elde edilen değerden daha iyi olur. Buna ek olarak, giriş akımının iki pozitif bileşene bölünmesi eşzamanlı olarak gerçekleştirilir, böylece AB-sınıfı modunda çalışma kabiliyeti sağlanır. Sıkıştırılmış gerilim daha sonra sinh-ortam çekirdeği tarafından işlenir ve ortaya çıkan çıkış gerilimi genişletilir ve aynı anda doğrusal bir akıma dönüştürülür. Filtrenin tümünün doğrusal çalışmasını sağlamak için, sıkıştırma ve genişletme işlemleri birbirlerini tamamlayıcı olmalıdır. Logaritmik-ortam filtreleri ile karşılaştırıldığında, sinh-ortam filtreleri doğal AB-sınıfı niteliğine sahiptir ve bu nedenle belirli bir besleme düzeyinde geniş dinamik aralık sunarlar.

Sinh-ortam süzgeçlerinin temel yapı blokları sinh ve \sinh^{-1} operatörleri, kayıplı ve kayıpsız integratörler, cebirsel toplama ve çıkarma blokları; ana yapı blokları ise doğrusal olmayan sinh-cosh trans-iletken hücrelerdir. Sinh ortamda süzgeçlemede aktif bölgedeki BJT'ler veya zayıf evirtim bölgesindeki MOSFET'ler kullanılır. Sinh-ortamda süzgeçleme kavramı Şekil 1' de görülmektedir. (^) işaretiyle sahip değerler sinh-ortamdaki sinyalleri ifade etmektedir.



Şekil 1. Sinh-ortamda süzgeçleme kavramı

Sinh-ortamda süzgeçlemede, doğrusal giriş akımı sıkıştırılır ve eş zamanlı olarak doğrusal olmayan giriş gerilimine dönüştürülür ve sinh-ortam çekirdeğine girer. Daha sonra üretilen çıkış gerilimi genişletilir ve eş zamanlı olarak doğrusal çıkış akımına dönüştürülür.

Tablo 1. Sinh integratörleri performans sonuçları

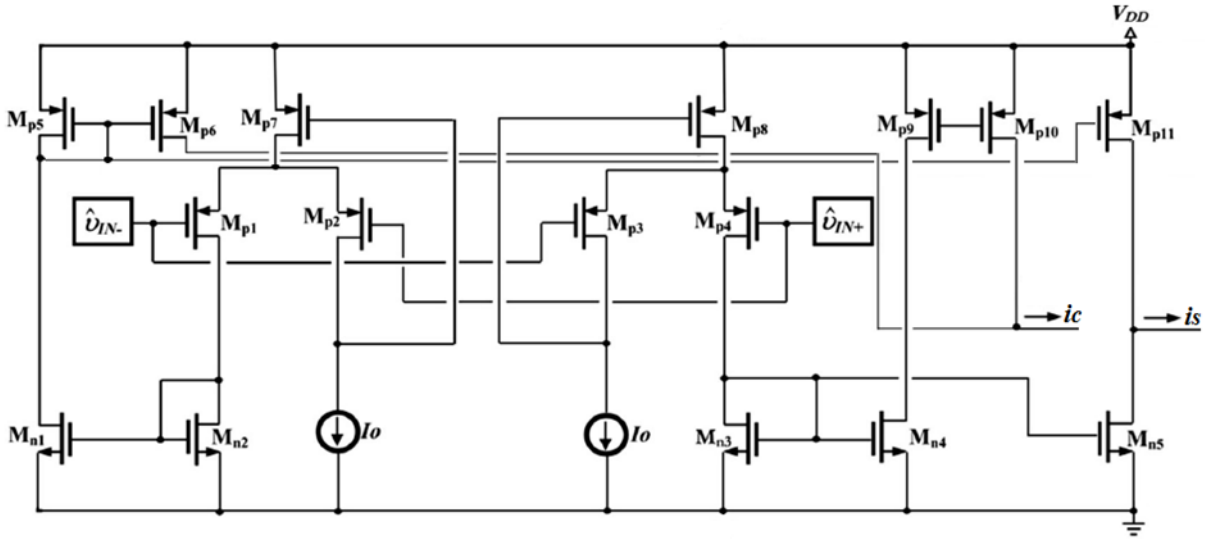
Performans faktörü	[12]	[13]	[14]	[16]
Teknoloji	0.35 μm CMOS	0.35 μm CMOS	0.35 μm CMOS	0.35 μm CMOS
Güç kaynağı	1.5 V	± 1 V	± 1 V	± 1 V
I_0	1 nA	10 nA	10 nA	10 nA
Kesim frekansı	636 Hz	2.214 kHz	2.1 kHz	2233 Hz
Noise floor	4.2 pA	12 pA	40 pA	12.3 pA
Toplam kapasitans	10 pF	20 pF	20 pF	20 pF
Güç Tüketimi	22.5 nW	0.3 μW	1.52 μW	0.2 μW
Dinamik Aralık	75dB	~ 125 dB	~ 120 dB	132 dB

Sinh/cosh trans-iletken hücreler

Şekil 2' de gösterilen zayıf evirtim bölgesindeki MOSFET tabanlı doğrusal olmayan sinh ve cosh trans-iletken hücre, sinh-ortam tasarım tekniğinin birincil bloğudur. (1)-(2) denklemleri sırasıyla hiperbolik sinüs ve hiperbolik kosinüs çıkışlarını göstermektedir.

$$i_S = 2I_0 \sinh\left(\frac{\hat{V}_{IN+} - \hat{V}_{IN-}}{nV_T}\right) \quad (1)$$

$$i_C = 2I_0 \cosh\left(\frac{\hat{V}_{IN+} - \hat{V}_{IN-}}{nV_T}\right) \quad (2)$$



Şekil 2. Çok çıkışlı doğrusal olmayan trans-iletken hücre [50]

Sinh-ortam tamamlayıcı operatörleri

Şekil 3' te sırasıyla doğrusal giriş akımının sıkıştırılmış gerilime dönüştürülmesi (Sinh^{-1}) ve sıkıştırılmış gerilimin genişletilmesi ve eş zamanlı olarak doğrusal akıma dönüştürülmesi (Sinh) görülmektedir. Sinh ve ters sinh (Sinh^{-1}) fonksiyonlarının denklemleri aşağıda verilmiştir [19].

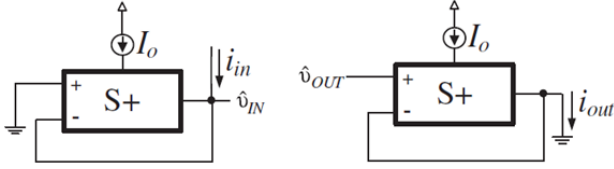
$$\hat{V}_{IN} = \text{SINH}^{-1}(i) = V_{DC} + nV_T \sinh^{-1}\left(\frac{i_{in}}{2I_0}\right) \quad (3)$$

$$i_{OUT} = \text{SINH}(\hat{V}_{OUT}) = 2I_0 \sinh\left(\frac{\hat{V}_{OUT} - V_{DC}}{nV_T}\right) \quad (4)$$

Burada, V_{DC} DC gerilimi, V_{IN} giriş gerilimini, i_{in} giriş akımını, V_{OUT} çıkış gerilimini ve i_{OUT} ise çıkış akımını temsil etmektedir. Sıkıştırılmış yapılarını temsil etmek için (^) kullanılmıştır

Tablo 2. Literatürde bulunan bazı trans-iletken hücrelerin karşılaştırılması

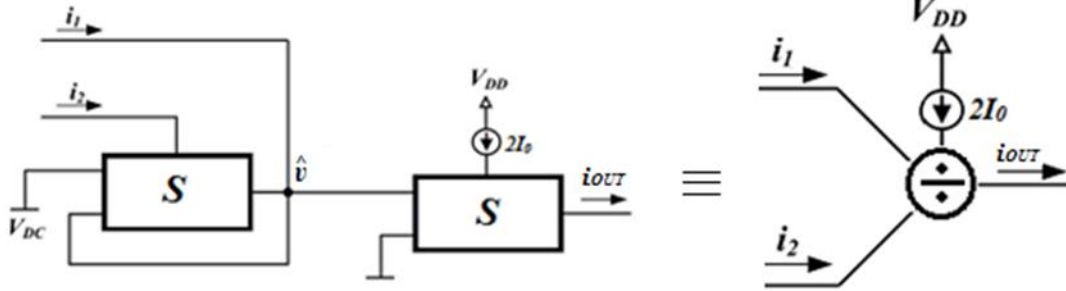
Kaynak	Teknoloji	Güç Kaynağı	Besleme Akımı
[12]	0.35 μm AMS CMOS	1.5 V	1 nA
[16]	0.35 μm AMS CMOS	2 V	10 nA
[20]	AMS 0.35 μm S35 BiCMOS	1.2 V	1 μA
[27]	0.13 μm CMOS	0.65 V	0.5 nA
[28]	0.13 μm CMOS	0.65 V	0.5 nA
[56]	0.35 μm AMS CMOS	0.5 V	100 pA



Şekil 3. Sinh^{-1} ve Sinh operatörlerinin gerçekleştirilmesi [19]

Sinh-ortam two-quadrant çarpıcı/bölücü

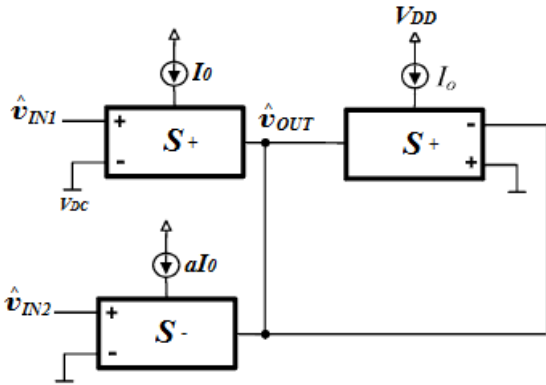
Diğer bir önemli blok, two-quadrant çarpıcı/bölücü bloktur. Topoloji ve ilgili sembol



Şekil 4. Two-quadrant çarpıcı/bölücü ve sembolü [19]

Sinh-ortam cebirsel toplama/çıkarma bloğu

Sinh-ortam cebirsel toplama/çıkarma bloğunun ağırlıklı giriş ile gerçekleştirilmesi Şekil 5' te verilmiştir. Çıkış ifadesi denklem (6) ile ifade edilir.



Şekil 5. Ağırlıklı girişli sinh-ortam cebirsel toplama/çıkarma bloğu [23]

$$\text{SINH}(\hat{v}_{OUT}) = \text{SINH}(\hat{v}_{IN1}) - a\text{SINH}(\hat{v}_{IN2}) \quad (6)$$

Sinh-ortam integratörleri

Kayıpsız ve kayıplı sinh-ortam integratörlerinin topolojisi Şekil 6' da gösterilmektedir. Gerçekleşen transfer fonksiyonları sırasıyla (7) ve (8) denklemleriyle verilmektedir.

Şekil 4' te gösterilmektedir, burada 2Q etiketi hücrenin two-quadrant çalışma kapasitesini göstermektedir. Bu, hem I_0 hem de i_2 akımlarının dc besleme akımları olmasından ve sonuç olarak kesinlikle pozitif olmaları gerektiğinden kaynaklanmaktadır.

$$i_{OUT} = I_0 \left(\frac{i_1}{i_2} \right) \quad (5)$$

$$H(s) = \left(\frac{1}{\tau s} \right) \quad (7)$$

$$H(s) = \left(\frac{1}{\tau s + 1} \right) \quad (8)$$

(7) ve (8) denklemlerindeki zaman sabitinin ifadesi, denklem (9)'da verilmektedir.

$$\tau = \left(\frac{nCV_T}{2I_0} \right) \quad (9)$$

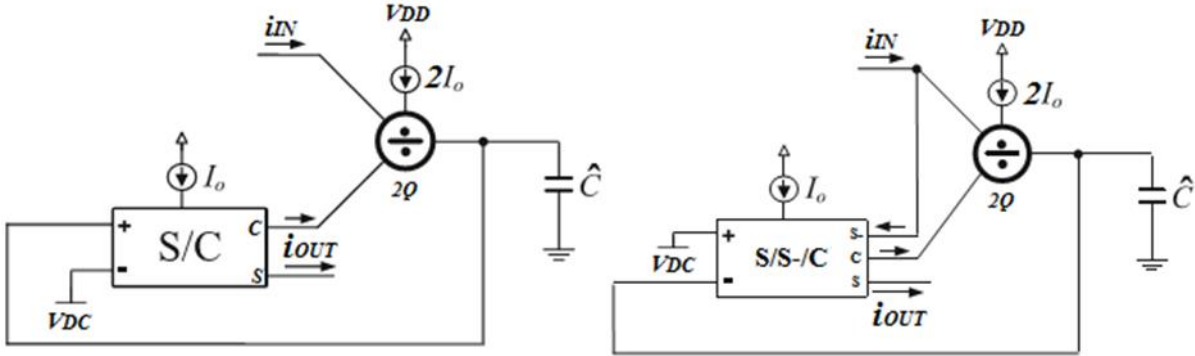
Burada τ zaman sabiti, C kondansatör değeridir.

Biyomedikal uygulamalar

Biyopotansiyel sinyaller, canlı sistemin sağlık durumu hakkında bilgi taşırlar. Bu nedenle, bu sinyallerin izlenmesi ve analiz edilmesi, canlı sistemlere ait çeşitli hastalıkların teşhis edilmesini sağlar. Bu biyopotansiyel sinyallerin analizinden elde edilen bilgiler, bu sinyallerin birbirleri üzerindeki etkisinin incelenmesi ile birleştirilerek hastaların yaşam kalitesini iyileştirmeye devam etmektedir. Biyomedikal sinyal işleme, genel olarak biyopotansiyel sinyallerin edinimi, analizi ve iletişimi olmak üzere üç aşama içerir. Biyomedikal sinyal işleme, biyolojik yapıların karmaşık olması nedeniyle basit bir işlem değildir. Biyopotansiyel sinyalin harici gürültü ile bozulması ve her bir biyopotansiyel sinyalin bir

diğer biyopotansiyel sinyal için gürültü sinyali olarak hareket etmesi nedeniyle daha karmaşık olmaktadır. Bu nedenle, hastalıkları etkili ve verimli bir şekilde teşhis etmek ve hastaların yaşam kalitesini iyileştirmek için yeni biyomedikal sinyal işleme tekniklerine ihtiyaç vardır. Devre tasarım tekniklerinde meydana gelen yenilikler ve yarı iletken entegre devre teknolojisindeki son gelişmeler, karmaşık biyomedikal işlemlerle uyumlu işleme yeteneklerine sahip sistemlere yönlendirmiştir.

Gerçek dünyanın analog olduğu fakat sinyal işlemenin giderek daha sayısal hale geldiği göz önüne alındığında, analog sinyallerin alınması ve sayısal işleme aşamalarında uygun şekilde işlenmesi için analog ön uçların gerekli olduğu görülmektedir. Fizyolojik sinyal edinim tekniklerindeki gelişmeler, taşınabilir cihazlara yönelik daha küçük ve ultra düşük güçlü devrelerin tasarlanması ihtiyacını belirlemektedir. Düşük güçlü, taşınabilir, daha küçük ve doğru edinim sistemleri için yeni devre



Şekil 6. Sinh-ortam (a) kayıplı integratör (b) kayıpsız integratör [19]

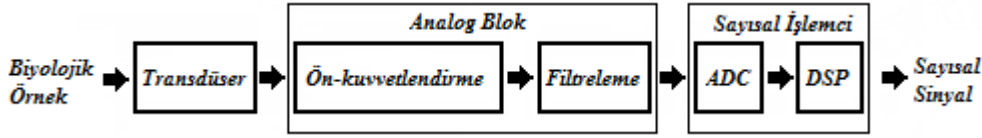
tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. EEG, EKG ve EMG, düşük voltaj büyüklüğüne ve düşük frekansa sahip ana biyomedikal sinyallerdir. Biyomedikal sinyallerin tipik frekans ve genlik aralıkları Tablo 3' te verildiği gibidir. Zayıf biyomedikal sinyallerin alınması sırasında bazı istenmeyen sinyaller oluşmaktadır. Gürültünün biyopotansiyel sinyalden uzaklaştırılması için sinyalin özelliklerine göre çeşitli süzgeçleme işlemleri gerçekleştirilir. Biyomedikal sinyal edinim sisteminin analog ön ucunun genel bloğu, bir enstrümantasyon kuvvetlendiricisi, temel dolaşımı kaldırmak için bir yüksek geçiren süzgeç, güç hattı parazitini ortadan kaldırmak için bir bant durdurucu süzgeç (50/60 Hz), istenmeyen sinyalleri kaldırmak için bir alçak geçiren süzgeç ve bir analogdan dijital dönüşürücü (ADC) içerir. Biyopotansiyel veri işlemenin genel diyagramı Şekil 7' de gösterilmektedir.

Sinh-ortam süzgeçlerinin biyomedikal uygulamaları

Sinh-ortam devreleri; düşük güç dağılımı sağlar, geniş dinamik aralığa ve elektronik olarak ayarlanabilirliğe sahiptir. Sinh-ortam süzgeçlemenin önemli bir özelliği, companding tekniğini kullanmasıdır, böylece giriş akımı sinyalleri girişte sıkıştırılmış gerilimlere dönüştürülür ve daha sonra bu sıkıştırılmış gerilimler çıkış aşamasında genişletilmiş akımlara dönüştürülür. Sinh-ortam süzgeçlerinde sıkıştırma işlemi ters hiperbolik sinüs fonksiyonuyla, genişletme işlemi ise hiperbolik sinüs fonksiyonuyla gerçekleştirilir. Sıkıştırma ve genişletme işlemlerinde aktif bölgedeki BJT'ler veya zayıf evrim bölgesindeki MOSFET'ler kullanılır. Sinh CMOS süzgeçleri doğal AB-sınıfındadır ve pseudo-diferansiyel AB-sınıfı logaritmik-ortam karşılıkları ile

Tablo 3. Biyomedikal sinyallerin tipik frekans ve büyüklük aralıkları

Sinyal	Frekans Aralığı (Hz)	Genlik Aralığı (mV)
EEG	0.1-100	0.001-1
EKG	0.01-300	0.05-3
EMG	50-3000	0.001-1000



Şekil 7. Biyopotansiyel veri işlemenin genel diyagramı

karşılaştırıldığında toplam kapasitans değerinin yarısında yüksek dinamik aralık sunarlar. Literatür taraması sonucunda, sinh-ortam süzgeçlerinin, doğal AB-sınıfı yapısı ve geniş dinamik aralığa sahip olması nedeniyle biyomedikal uygulamalar için kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

Sinh-ortam süzgeçlerinin biyomedikal uygulamalar için yapılan çalışmaları incelendiğinde bir sinh CMOS AB-sınıfı 3. dereceden Bessel süzgeç tasarımı ve detaylı benzetim sonuçlarının sunulduğu çalışmanın olduğu görülmektedir [17]. Bu çalışmada Sinh CMOS süzgeçlerinin düşük frekans uygulamaları ve özellikle de EKG işleme için uygunluğu araştırılmıştır. EKG, vücut yüzeyinde bulunan elektrotlar aracılığıyla kalbin elektriksel aktivitesini kaydeden zayıf bir sinyaldir ve dış gürültüyle etkileşimi kolaydır. Doğru bir EKG sinyali almanın yolu gürültüyü ortadan kaldırmaktır. Bu nedenle, temel gezinme, 50/60 Hz frekans paraziti ve yüksek frekanslı gürültülerin süzgeçlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ilk olarak kesim frekansı 8 Hz olan 3. dereceden bir Bessel süzgecin tasarımı transistör seviyesi sentezi kullanılarak yapılmış ve 0.35 μm AMS işlem parametreleri kullanılarak benzetim gerçekleştirilmiştir. Geçiş bandındaki tüm frekansları aynı miktarda geciktirme ve böylece süzgeçlenmiş sinyalin şeklini koruma özelliği nedeniyle biyomedikal uygulamalar için Bessel yaklaşımı önemlidir. Önerilen Bessel süzgecin ana yapı taşı, Sinh integratörünün transistör seviyesi uygulamasıdır. Daha sonra tasarlanan 3. dereceden Bessel süzgeç kullanılarak 6. dereceden 2.4 Hz kesim frekansına sahip bir Bessel süzgeç, çeşitli gürültü kaynakları ile üst üste binen yapay olarak benzetimi yapılmış bir EKG sinyali aracılığıyla test edilmiştir. Tasarlanan 6. dereceden süzgecin 1,5 μW güç tükettiği ve 59-66 dB'lik dinamik bir aralık sergilediği; 3. dereceden süzgecin %1 THD için 95 dB'lik dinamik bir aralık ve %4 THD için 110 dB'den fazla dinamik bir aralık sergilediği görülmüştür. 6. dereceden 2.4 Hz

kesim frekansına sahip Bessel süzgeç, benzer uygulamalar için tasarlanmış aynı kesim frekansına sahip bir Bessel süzgeç ile karşılaştırılmıştır [18]. Sinh süzgecinin, [18]'de bildirilene benzer dinamik aralık sergilerken, neredeyse on kat daha düşük toplam statik güç tüketimine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Frey 1996'da ESS sentez yaklaşımından kaynaklanan bipolar teknolojiye ilk sinh topolojilerini göstermiştir [9]. [9]'da verilen S-hücresi ve T-hücresi olarak adlandırılan hücreler doğrusal olmayan trans-iletken hücrelerdir. ESS yönteminden türetilmiş ve [9]'da önerilen özgün S-hücresine ve T-hücresine dayanan CMOS zayıf evirtim sinh topolojileri ilk defa Katsiamis ve Drakakis tarafından 2005'de önerilmiştir [11]. Sinh-ortam süzgeçleri tasarlamak için yeni ve sistematik bir yöntem [19]'da sunulmuştur. Bu yöntemde, her doğrusal işlemin geleneksel fonksiyonel blok şemasını sinh-ortama karşılık gelen bir fonksiyonel bloğa dönüştürmek için uygun bir tamamlayıcı operatör seti kullanılmıştır. Bu yöntem ile yüksek dereceli sinh-ortam süzgeçlerinin tasarım yöntemi kolaylaştırılmıştır. Bu çalışmaya kadar yalnızca birkaç sinh-ortam yapı taşının ve süzgeç topolojisinin yayınlanmış olması nedeniyle yüksek dereceli sinh-ortam süzgeçleri tasarlamak için sistematik bir yöntem bulunmadığından dolayı, bu çalışmada sinh-ortam süzgeçleri için hızlı bir tasarım yöntemi sunmak amacıyla önceden tanıtilen yapı taşları kullanılarak, yüksek dereceli sinh-ortam süzgeçleri üretim prosedürü biçimlendirilmiştir. Sinh-ortam yapı bloklarının gerçekleştirilmesi, uygun yapılandırılmış doğrusal olmayan trans-iletkenlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile yüksek dereceli sinh-ortam süzgeçlerinin tasarımı sistematik bir yöntem kullanılarak oldukça kolaylaştırılmıştır. Örnek olarak, üçüncü dereceden bir sinh-ortam leapfrog süzgeci, önerilen operatör seti kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca doğrudan ve dolaylı formlar olarak bahsedilen iki olası

integratör gerçekleştirilmesi araştırılmış; performansları benzetim sonuçları ile değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Devre karmaşıklığı, gürültüsü performansı ve doğrusallık açısından doğrudan biçimin dolaylı biçime göre daha tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Pasif elemanların sinh-ortam benzetimine dayalı sinh-ortam sentezi elemanların parazitik etkileri ve eğilimleri üzerindeki toleransları için tercih edilmektedir. Pasif elemanların sinh-ortam benzetimiyle tasarlanan süzgeç devreleri benzetildikleri pasif elemanlar kullanılarak tasarlanmış devrelerin avantajlarını ve karakteristiklerini taşırlar. Bu avantajlar aynı zamanda sinh-ortamda da korunur. Genel olarak pasif elemanların sinh-ortam benzetimine dayalı sinh-ortam sentezinde ilk olarak yöntem için uygun süzgeç yaklaşımının seçimi yapılır. Sonra seçilen yaklaşıma ve istenen özelliklere uygun olan pasif süzgecin tasarımı yapılır ve bobin, kondansatör ve direnç elemanlarının sinh-ortam eşdeğerleri elde edilir. Son olarak elde edilen sinh-ortam eşdeğerlerinin pasif devre yapısında kullanılan elemanlar uygun değerler hesaplanarak yer değiştirilir. Pasif elemanların uçları arasından lineer ortamda akan akım ile elemanların sinh-ortam karşılıklarının uçları arasından akan akım aynıdır. Bu yolla, tüm devrenin lineer yapısı ve çalışması korunmuş olmaktadır.

Kasimis ve Psychalinos tarafından 2012'de yapılan çalışmada [20], ilgili pasif prototip süzgeçlerin bileşen değiştirme tekniklerine göre türetilen yeni BiCMOS sinh-ortam süzgeci topolojileri tanıtılmıştır. BiCMOS doğrusal olmayan trans-iletken hücreleri ve ilgili denklemlerin sinh-ortama aktarılması için uygun tamamlayıcı operatör seti kullanılarak elde edilmiştir. Düşük gerilimli logaritmik-ortam süzgeçlerini gerçekleştirmek için daha önce kullanılmış olan doğrusal olmayan dönüştürücü hücreler (E+ hücre ve E- hücre) [21], [22] farklı kombinasyonlarda birleştirilerek sinh (S hücresi) ve cosh (C hücresi) oluşturulmuştur. Daha sonra pasif prototip devrenin eşdeğerini oluşturmak için sinh integratör ve toplama blokları ve pasif elemanların (topraklanmış direnç, topraklanmış bobin, yüzen bobin, topraklanmış kondansatör, yüzen kondansatör) sinh-ortamdaki eşdeğerleri elde edilmiştir. Karşılık gelen pasif prototiplerin topolojisi yüksek dereceli süzgeçleri

gerçekleştirmek için kullanılabilir. Logaritmik-ortam süzgeçlerine ve sinh-ortam süzgeçlerine başarıyla uygulanan bu yaklaşımda, pasif prototipin her bir elemanı aktif eşdeğeri ile değiştirilir. Pasif elemanların uygun aktif bloklarla akım-gerilim ilişkisi; pasif elemanın uçlarından akan akım, tasarlanmış sinh-ortam eşdeğerinin uçları arasındaki akıma eşit olmalıdır ve pasif elemanın her iki ucundaki gerilim karşılık gelen eşdeğerinin gerilimine eşit olmalıdır; koşullar altında elde edilebilir. Bu çalışmada, sinh-ortam süzgeçlerini tasarlayan iki sistematik yol ortaya atılmıştır. Süzgeç topolojilerinin türetilmesi, tek bir 1.2 V dc güç kaynağı altında çalışma kabiliyeti olan yeni doğrusal olmayan trans-iletkenlerin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Elde edilen karşılaştırma sonuçları, logaritmik-ortam ve OTA-C süzgeçleri ile karşılaştırıldığında sinh-ortam tekniğinin en verimli şekilde gerçekleştirilmesini sağladığını göstermektedir. Böylece, önerilen blokların modern yüksek performanslı, düşük voltajlı analog işleme sistemlerinde istihdam potansiyeli olduğunu göstermiştir.

İkinci dereceden süzgeçlerin önemli bir alt sınıfı; alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren, bant durduran ve tüm geçiren olmak üzere beş standart süzgeç fonksiyonu sunan evrensel ikinci dereceden süzgeçlerdir. Khanday ve Shah tarafından 2013'te yapılan çalışmada, düşük gerilimli bir sinh-ortam evrensel ikinci dereceden süzgeç devresi tanıtılmıştır [23]. Bu çalışmada, ayarlanabilir bir kesim frekansı, geniş dinamik aralık ve düşük güç tüketimi avantajlarına sahip olan düşük gerilimli bir sinh-ortam evrensel ikinci dereceden süzgeç devresi sunulmuştur. Önerilen devrenin, düşük güç ve kompaktlık özellikleri ve düşük kesim frekansları üretme yetenekleri sayesinde biyomedikal uygulamalar için uygun olduğu ifade edilmiştir. Önerilen devrede kesim frekansı ve kalite faktörü bağımsız olarak ayarlanabilmektedir, entegrasyon için uygundur ve yalnızca birkaç trans-iletken hücreden ve topraklanmış elemanlardan oluşturulmuştur. Süzgeç, EEG uygulaması için tipik kesim frekansı olan 13 Hz ile frekans tepkisi gerçekleştirilmiştir. Teorik analizleri doğrulamak amacıyla benzetim sonuçları elde edilmiş ve süzgecin 59.17 dB dinamik aralık ve 19.2 nW güç tüketimi gösterdiği görülmüştür.

Biyomedikal uygulamalarda, ultra düşük güç ortamı olduğunda taşınabilir cihazın ömrünü uzatmak için sistemin güç kaybı mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Bu nedenle, doğrusal olmayan dönüştürücülerin gerçekleştirilmesi için zayıf evirtim bölgesinde çalışan MOSFET'ler kullanılmalıdır. Biyomedikal sinyalleri işlemek için çok güçlü bir araç olan doğrusal olmayan enerji operatörü, bir sinyalin genliği ve frekansının anlık ürününü tahmin etme etkinliğine sahiptir. [24]'te doğrusal olmayan enerji operatörü, companding süzgeçleme kavramı kullanılarak logaritmik-ortam ve sinh-ortam süzgeçleme teknikleri ile gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Her iki topoloji, doğrusal olmayan trans-iletken hücrelerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen farklılaştırıcı ve çarpıcı bloklardan oluşturulmuştur. Önerilen topolojilerin her ikisinde de, zayıf evirtim bölgesindeki MOSFET'ler kullanıldığından dolayı ultra düşük gerilimli çalışma kapasitesi sunulmaktadır. Karşılaştırma sonuçları, sinh-ortam gerçekleştirilen logaritmik-ortam gerçekleştirilmesine göre daha fazla güç verimli olduğunu göstermiştir. Ayrıca sinh-ortam süzgeçlerinin, giriş akımının hem pozitif hem de negatif değerleri için daha iyi sıkıştırma ve doğal AB-sınıfı çalışma sunması nedeniyle akımları besleme akımından daha büyük bir seviyede işleyebilirler sonucuna varılmıştır.

Biyomedikal sinyal edinim sisteminin analog öncünün genel bloğunda yer alan ve güç hattı parazitini ortadan kaldırmaya yarayan bir bant durdurucu süzgecin (50/60 Hz) tasarımı [25]'te yapılmıştır. Bu çalışmada, pratik bir sinh integratörü ve 50/60 Hz şebeke gürültüsünün biyopotansiyel sinyallerden temizlenmesi

amacıyla, önerilen integratör aracılığıyla sentezlenen 8. dereceden bir bant durdurucu süzgeç tasarlanmıştır. Öncelikle sinh kayıplı integratörün sentezi verilmiş ve alçak geçiren, yüksek geçiren ve tüm geçiren yanıtlara sahip 1. dereceden sinh süzgecin uygulanması gösterilmiştir. Daha sonra fabrikasyon sinh integratör çipinden ölçülen sonuçlar sunulmuş ve ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Son olarak ölçülen sonuçlar sunulmuş ve önerilen diğer bant durdurucu süzgeç topolojileri ile karşılaştırma yapılmıştır. [31]'de sunulan ultra düşük gerilimli ve düşük güçlü sinh-ortam dalgacık süzgeci EKG sinyal analizi için önerilmiştir. Önerilen süzgeç; frekansının elektronik olarak ayarlanması, direnç kullanılmaması ve biyomedikal sinyal analizi için gerekli olan düşük gerilim ve düşük güç ortamında çalışma yeteneklerine sahiptir. Ayrıca, sinh-ortam süzgeçlerinin doğal AB-sınıfı çalışmasından dolayı güç tasarrufu sağlamaktadır. Dalgacık dönüşümü, EKG sinyalinin gürültülerden temizlenmesi için başarılı yöntem olarak belirtilmiş ve dalgacık dönüşümünün biyomedikal sinyalleri analiz etmek için güçlü bir araç olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada, EKG sinyal analizi için düşük gerilimli düşük güçlü dalgacık süzgeci tasarlanmıştır. Literatürde yayınlanan eşdeğerleri ile yapılan karşılaştırmaya göre düşük güç tüketimi ve güç verimliliği avantajlarına sahip olduğundan dolayı, analog biyomedikal sinyal işleme sistemlerinin gerçekleştirilmesi için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. [17], [23], [25] ve [31]'de sunulan biyomedikal uygulamalar için önerilen sinh-ortam süzgeçlerinin özelliklerinin özeti Tablo 4' te verilmiştir.

Tablo 4. Sinh-ortam süzgeçlerinin biyomedikal uygulama örneklerinin performans özellikleri

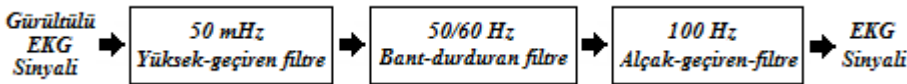
Performans Faktörü	[17]	[23]	[25]	[31]
Teknoloji	0.35 μ m AMS CMOS	TSMC 0.18 μ m CMOS	0.35 μ m AMS CMOS	AMS 0.35 μ m C35B4 CMOS
Topoloji	3. dereceden Bessel (EKG)	Evrensel süzgeç (EEG)	8. dereceden bant-durdurucu (50/60 Hz)	Sinh-ortam dalgacık süzgeç
Güç kaynağı	± 1 V	± 0.75 V	2 V	0.5 V
Kesim frekansı	8 Hz	13 Hz	50 Hz	86 Hz
Toplam kapasitans	150 pF	150.6 pF	200 pF	107.2 pF
Güç tüketimi	0.1 μ W	19.2 nW	8 μ W	12 nW
Dinamik aralık	117 dB	59.17 dB	89 dB	44 dB

RMS-DC dönüştürücüler, biyomedikal sinyal işleme uygulamalarında bulunan ve belirli bir sinyalin ortalama enerjisinin tahminini gerçekleştirmek için çok yararlı olan bloklardır. Bir RMS-DC dönüştürücüsünün, ultra düşük güç gerektiren günümüz biyomedikal sistem eğilimleriyle uyumlu olması için, zayıf evirtim bölgesindeki MOSFET'lerin kullanılması bu amaca ulaşmak için en verimli çözüm olarak görülmektedir. Bu nedenle, [34]'te yeni doğrudan ve dolaylı bir şema aracılığıyla gerçekleştirilebilen RMS-DC dönüştürücü topolojileri önerilmiştir. Önerilen topolojide kullanılan yapı blokları; uygun şekilde yapılandırılmış doğrusal olmayan trans-iletkenler kullanılarak gerçekleştirilen two-quadrant akım kare alıcısı ve sinh-ortam süzgeçleme yöntemi takip edilerek gerçekleştirilen akım ortalama topolojisidir. Önerilen şemaların, tek bir 0,5 V besleme gerilimi ortamında çalışma ve en önemlisi, çok düşük frekanslı sinyallerin işlendiği biyomedikal uygulamalar için bile topolojilerini tam entegre biçimde uygulama özelliklerini sunmasından dolayı taşınabilir biyomedikal cihazlara yerleştirilebilir oldukları belirtilmiştir. Biyomedikal bir uygulama örneği olarak, kalp aritmisini tespit etmek için bir sistemin tasarımı sunulmuştur. Bu sistem: (a) bir EKG'nin enerjisinin çoğunu içeren QRS kompleksi hakkında bilgi almak ve temel gezinmeyi, T dalgası parazitini ve 60 Hz gürültüsünü bastırmak için bant geçiren süzgeç ve (b) sinyalin ortalama enerjisi hakkında bilgi çıkarmak için RMS-DC dönüştürücüden oluşturulmuştur. Bu çalışmada önerilen RMS-DC dönüştürücü topolojilerinin her ikisinin de ultra düşük gerilimli tam entegre biyomedikal sistemleri gerçekleştirmek için uygun olduğu belirtilmiştir. Doğrudan gerçekleştirmenin, iyileştirilmiş bant genişliği yararını sunarken, dolaylı gerçekleştirmenin azaltılmış devre karmaşıklığı ve güç dağıtımı ve ayrıca genlik varyasyonlarına göre gelişmiş doğruluk sağladığı gözlemlenmiştir. Dolaylı RMS-DC dönüştürücü şeması, EKG'lerdeki aritmiyi tespit etmek için kullanılmıştır ve bu, yüksek performanslı biyomedikal sistemleri

gerçekleştirme uygunluğuna ilişkin vaat edilen bir sonuç olarak ifade edilmiştir.

EKG sinyali, kalbin çalışma durumu hakkında yeterince ayrıntılı bir görüş sunduğundan kalp hastalıklarının non-invaziv olmayan tanısı için güçlü bir araçtır. Biyomedikal sinyal işlemenin analog ön uç işleme aşaması, gürültü ve istenen sinyal arasında ayırım yaptığından EKG sisteminin önemli bir parçasını oluşturur. Bir EKG sinyalindeki ana gürültü bileşenleri: a) elektrotlardaki ofset voltajlarının, solunumun ve vücut hareketinin neden olduğu düşük frekanslı bir bileşen olan taban çizgisi dolaşımı, b) AC güç hattının 50/60 Hz frekansından kaynaklanan parazit ve c) genellikle elektrocerrahi ünitesinin yüksek frekans çıkışından kaynaklanan elektromanyetik girişim olarak sıralanabilir. EKG sinyal alımını gerçekleştirmek için kullanılan analog ön ucun tipik bir zinciri Şekil 8' de gösterilmektedir.

EKG sinyal toplama sisteminde: (a) taban hattında dolaşmayı gidermek ve ST segmentini yakalamak için kesim frekansı 50 mHz olan yüksek geçiren bir süzgeç, (b) güç hattı parazitini en aza indirmek için 50/60 Hz frekanslı bir bant durduran süzgeç ve (c) QRS aralıklarını korumak ve elektromanyetik paraziti en aza indirmek için 100 Hz kesim frekansına sahip alçak geçiren bir süzgeç kullanılmalıdır [37]. [37]'de, 50 mHz kesim frekansına sahip bir sinh-ortam yüksek geçiren süzgeç, 50/60 Hz bant durduran süzgeç ve 100 Hz kesim frekansına sahip alçak geçiren süzgecin kullanıldığı bir EKG sinyal toplama sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, ekstra akım bölme ağının kullanılmasıyla uygulanan gelişmiş bir güncel bölücü topolojisi kullanılarak sinh-ortamdaki son derece büyük zaman sabitlerinin gerçekleştirilmesi ile literatüre katkı sağlanmıştır. Önerilen yüksek geçiren süzgecin, 10-50 mHz gibi oldukça düşük kesim frekanslarını gerçekleştirme avantajına sahip olduğu ve önerilen bant durduran süzgecin, gelişmiş güç verimli tasarım sunduğu belirtilmiştir.



Şekil 8. Tipik EKG sinyal toplama sistemi

Tablo 5. EKG sinyal toplama sistemi için [37]'de önerilen sinh-ortam süzgeçlerinin performans özellikleri

Performans Faktörü	Birinci dereceden Bessel yüksek-geçiren süzgeç	Dördüncü dereceden bant-durduran süzgeç	Dördüncü dereceden Bessel alçak-geçiren süzgeç
Teknoloji	TSMC 180nm CMOS	TSMC 180nm CMOS	TSMC 180nm CMOS
Besleme akımı	200 pA	300 pA	200 pA
Güç kaynağı	0.5 V	0.5 V	0.5 V
Kesim frekansı	50 mHz	50 Hz	100 Hz
Toplam kapasitans	400 pF	400 pF	200 pF
Güç tüketimi	4.6nW	35 nW	24.8 nW
Dinamik aralık	68.2 dB	55.5 dB	54.29dB

Ayrıca, 0.5 V besleme gerilimi kullanıldığından dolayı önerilen sistemin modern yüksek performanslı biyomedikal sinyal işleme sistemleri için ideal olduğu ifade edilmiştir. [37]'de EKG sinyal toplama sistemi için önerilen sinh-ortam süzgeçlerinin performans özellikleri Tablo 5'te verilmiştir.

EKG sinyalinin önemli özellikleri arasında P dalgası, Q, R ve S dalgaları ve T dalgası bulunur. T dalgasının analizi, kalp fonksiyon bozukluğu olan hastaların teşhisi, izlenmesi ve takibi için temel bir klinik araçtır. T dalgasını algılamak için, kesim frekansı 2.4 Hz olan bir alçak geçiren süzgeç gerçekleştirilmelidir. [38]'de, sinh-ortam süzgeçlerinin, doğal AB-sınıfı işlemine sahip olmasından ve zayıf evirtim bölgesindeki MOSFET'lerin kullanılmasından dolayı sinh-ortam süzgeçleme kavramı kullanılarak altıncı dereceden alçak geçiren süzgeç topolojisi gerçekleştirilmiştir. Sistemin davranışı yapay bir EKG sinyali kullanılarak değerlendirilmiştir. Süzgeçlenmiş sinyalin ortaya çıkan dalga formunun, teorik olarak tahmin edilene çok yakın olduğu ifade edilmiştir. Önerilen topolojinin, eşdeğer süzgeçler arasında en güç verimli gerçekleştirmeyi sunduğu ifade edilmiştir.

İntegratörler ve farklılaştırıcılar, biyomedikal uygulamalarda sinyal işlemeyi gerçekleştirmek için çok yararlı yapı taşlarıdır. Süzgeçleri, osilatörleri, empedans emülatörlerini gerçekleştirmek için ve kontrol sistemlerinde kullanılırlar. [39]'da, yeni kesirli dereceli farklılaştırıcı ve integratör topolojileri önerilmiştir. Sinh-ortamda süzgeçleme kullanıldığı için dirençsiz gerçekleştirme, frekansının dc akım kaynakları ile elektronik

olarak ayarlanması ve 0,5 V güç kaynağında çalışma avantajlarına sahiptir. Uygulama örneği olarak, Pan-Tomkins algoritmasının ön işlemlerini gerçekleştirmek için bir sinh-ortam zincirinin tasarımı verilmiştir; burada geleneksel farklılaştırıcı, bir kesirli dereceli farklılaştırıcı ile ikame edilmiştir. Benzetim sonuçları, gürültülü EKG sinyallerini işlemek için karşılık gelen tam sayı dereceli muadiline göre daha verimli bir blok olduğunu doğruladığından dolayı yüksek performanslı ultra düşük gerilimli biyomedikal sistemleri gerçekleştirmek için ideal olabileceği ifade edilmiştir.

EEG, epilepsi ve koma gibi çeşitli beyin bozukluklarını teşhis etmek için kullanılan, beyindeki nöronların ateşlenmesiyle kafa derisindeki elektriksel hareketleri kaydetmek için çok etkili bir araçtır. EEG sinyallerinin kaydı, kafa yüzeyine uygun şekilde bağlanmış iletken elektrotlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Farklı frekans bantlarında bulunan birkaç dalgadan yapılmıştır. Bu dalgalar, alfa (8-12 Hz), beta (14-30 Hz), gama (25-100 Hz) ve teta (4-7 Hz) dalgalarıdır. EEG'nin alfa, beta, gama ve teta dalgalarını çıkarmak için dördüncü dereceden bir bant geçiren süzgecin uygulama örneği olarak gerçekleştirildiği [40]'ta, büyük zaman sabitlerinin gerçekleştirilmesinin verildiği yeni logaritmik-ortam ve sinh-ortam integratör bloklarının tanıtımı yapılmıştır. Bu, eşdeğer direncin değeri etkilenmeyecek, ancak eşdeğer kondansatörün değeri uygun DC akımları tarafından kontrol edilen bir faktör tarafından ölçülenecek şekilde daha önce tanıtılmış yapıların uygun bir modifikasyonu ile elde edilmiştir. Önce büyük zaman sabitlerine sahip önerilen logaritmik-ortam integratörleri ve

ayrıca logaritmik-ortamda empedans ölçeklendirmeli pasif elemanların yeni eşdeğerleri tanıtılmış, sonra benzer bir uygulama sinh-ortam karşılıkları için yapılmıştır. Daha sonra tasarlanan ikinci dereceden bant geçiren süzgeç topolojileri arasında ayrıntılı bir

performans karşılaştırması yapılmıştır. Önerilen biyomedikal süzgeç tasarım örneği, önerilen aktif blokların, biyolojik bir sinyalden istenen bilgiyi çıkarmak için yüksek performanslı biyomedikal sistemleri gerçekleştirmek için çekici adaylar olabileceğini göstermiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, biyomedikal uygulamalar için sinh-ortamda süzgeçleme tekniği ile tasarlanan düşük güçlü ve düşük gerilimli süzgeçler incelenmiştir. Sinh-ortamda süzgeçleme, doğal AB-sınıfı yapısına sahip analog süzgeçleri gerçekleştirmek için önemli bir tekniktir. Bu, gerekli akım bölünmesinin, doğrusal giriş akımının sıkıştırılması ve bunun doğrusal olmayan bir gerilime dönüştürülmesiyle eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Sinh-ortamda süzgeçleme tekniği aynı zamanda frekans özelliklerinin elektronik olarak ayarlanmasını sağlar, çünkü gerçekleştirilen zaman sabitleri bir dc akım tarafından kontrol edilir. Zorlayıcı doğası nedeniyle, sinh-ortam devreleri ayrıca düşük gerilimli bir ortamda çalışma kabiliyetine de izin verir. Sinh-ortam, karşılık gelen logaritmik ortam ve karekök ortam eşdeğerleriyle karşılaştırıldığında, daha fazla güç verimli süzgeç gerçekleştirmeleri sunmaktadır. Biyomedikal uygulamalarda, ultra düşük güç ortamı olduğunda taşınabilir cihazın ömrünü uzatmak için sistemin güç kaybının mümkün olduğunca düşük olması gerektiğinden sinh-ortamda zayıf evirtim bölgesinde çalışan MOSFET'lerin kullanılması büyük fayda sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen çalışmalar, biyomedikal uygulamalar için sinh-ortamda tasarlanan süzgeçlerin biyomedikal uygulamalar için özel bir bölge olan Hz-kHz aralığında ayarlandığını ve önerilen süzgeçlerin, düşük güç ve kompaktlık özellikleri ve düşük kesim frekansları üretme yetenekleri sayesinde biyomedikal uygulamalar için uygun olduğunu göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje Numarası: 19087) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] R. W. Adams, "Filtering in Log Domain", *63 rd AES Conf.*, s.1470, 1979.
- [2] E. Seevinck, "Companding current-mode integrator: A new circuit principle for continuous-time monolithic filters," *Electronics Letters*, vol. 26, no. 24, p. 2046, 1990.
- [3] D. R. Frey, "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering", *IEE Proceedings G Circuits, Devices and Systems*, 140(6), p.406., 1993.
- [4] C. Toumazou, J. Ngarmnil, and T. S. Lande, "Micropower log-domain filter for electronic cochlea," *Electronics Letters*, vol. 30, no. 22, pp. 1839–1841, 1994.
- [5] M. H. Eskiyerli, A. J. Payne, and C. Toumazou, "State space synthesis of integrators based on the MOSFET square law," *Electronics Letters*, vol. 32, no. 6, p. 505, 1996.
- [6] D. R. Frey, "General class of current mode filters," *Proc. - IEEE Int. Symp. Circuits Syst.*, vol. 2, pp. 1435–1437, 1993, doi: 10.1109/iscas.1993.692926.
- [7] J. Mulder, W. A. Serdijn, A. C. Van Der Woerd, and A. H. M. Van Roermund, "Dynamic translinear circuits - an overview," *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 22, no. 2, pp. 111–126, 2000, doi: 10.1023/a:1008332324277.
- [8] A. J. Lopez-Martin and A. Carlosena, "Synthesis of sinh systems from Gm-C systems by component-to-component substitution," *42nd Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Las Cruces, NM, USA, 1999, pp. 287-290 vol. 1, doi: 10.1109/MWSCAS.1999.867263.
- [9] D. R. Frey, "Exponential state space filters: a generic current mode design strategy," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Fundam. Theory Appl.*, vol. 43, no. 1, pp. 34–42, 1996, doi: 10.1109/81.481459.
- [10] Y. Tsvividis, "Externally linear, time-invariant systems and their application to companding signal processors," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, vol. 44, no. 2, pp. 65–85, 1997.

- [11] A. G. Katsiamis and E. M. Drakakis, "Sinh filters in weak inversion CMOS technology," *Midwest Symp. Circuits Syst.*, vol. 2005, pp. 1637–1640, 2005, doi: 10.1109/MWSCAS.2005.1594431.
- [12] S. A. P. Haddad and W. A. Serdijn, "An ultra low-power class-AB Sinh integrator," *SBCCI 2006 - 19th Symp. Integr. Circuits Syst. Des.*, vol. 2006, no. JANUARY 2006, pp. 74–79, 2006, doi: 10.1145/1150343.1150367.
- [13] A. G. Katsiamis, H. M. D. Ip, and E. M. Drakakis, "A practical CMOS companding Sinh lossy integrator," *Proc. - IEEE Int. Symp. Circuits Syst.*, pp. 3303–3306, 2007, doi: 10.1109/iscas.2007.378217.
- [14] K. N. Glaros, A. G. Katsiamis, and E. M. Drakakis, "Harmonic vs. geometric mean Sinh integrators in weak inversion CMOS," *2008 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2008.
- [15] J. Mulder, "A harmonic mean Class-AB integrator", *Static and Dynamic Translinear Circuits*: Delft University Press, pp. 247-254, 1998.
- [16] A. G. Katsiamis, K. N. Glaros, and E. M. Drakakis, "Insights and advances on the design of CMOS Sinh companding filters," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 55, no. 9, pp. 2539–2550, 2008, doi: 10.1109/TCSI.2008.921037.
- [17] E. M. Kardoulaki, K. N. Glaros, A. G. Katsiamis and E. M. Drakakis, "An 8Hz, 0.1 μ W, 110+ dBs Sinh CMOS Bessel filter for ECG signals," 2009 International Conference on Microelectronics - ICM, Marrakech, Morocco, pp. 14-17, 2009, doi: 10.1109/ICM.2009.5418668.
- [18] S. Solis-Bustos, J. Silva-Martinez, F. Maloberti, and E. Sanchez-Sinencio, "A 60-dB dynamic-range CMOS sixth-order 2.4-Hz low-pass filter for medical applications," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, vol. 47, no. 12, pp. 1391–1398, 2000.
- [19] C. Kasimis and C. Psychalinos, "Design of sinh-domain filters using complementary operators," *Int. J. Circ. Theor. Appl.*, vol. 40, pp. 1019-1039, 2012.
- [20] C. Kasimis and C. Psychalinos, "1.2 V BiCMOS sinh-domain filters," *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 31, no. 4, pp. 1257–1277, 2012, doi: 10.1007/s00034-011-9379-5.
- [21] M. Punzenberger and C. C. Enz, "A 1.2-V low-power BiCMOS class AB log-domain filter," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 32, no. 12, pp. 1968–1978, 1997.
- [22] D. Python and C. C. Enz, "A micropower class-AB CMOS log-domain filter for DECT applications," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 36, no. 7, pp. 1067–1075, 2001.
- [23] F. Khanday and N. Shah, "A low-Voltage and low-Power sinh-Domain universal biquadratic filter for low-Frequency applications," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 21, no. SUPPL. 2, pp. 2205–2217, 2013, doi: 10.3906/elk-1203-128.
- [24] A.-C. Demartinos, C. Kasimis, C. Laoudias, and C. Psychalinos, "Companding Realizations of the Nonlinear Energy Operator," *ISRN Biomed. Eng.*, vol. 2013, pp. 1–7, 2013, doi: 10.1155/2013/750290.
- [25] A. S. Walia, H. M. Ip, A. Katsiamis, and E. M. Drakakis, "A CMOS Current-Mode Hyperbolic-Sine-Based Three-Electrode Sensor Interfacing and Amplification Circuit," *2007 14th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, 2007.
- [26] S. Tongkulboriboon, P. Pawarangkoon, and W. Kiranon, "Externally linear current amplifiers," *Int. J. Electron.*, vol. 94, no. 6, pp. 587–596, 2007, doi: 10.1080/00207210701300408.
- [27] C. Sawigun and W. A. Serdijn, "Ultra-low-power, class-AB, CMOS four-quadrant current multiplier," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 10, pp. 483–484, 2009, doi: 10.1049/el.2009.3311.
- [28] C. Sawigun and W. A. Serdijn, "Ultra-low-power, class-AB, CMOS four-quadrant current multiplier," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 10, pp. 483–484, 2009, doi: 10.1049/el.2009.3311.
- [29] E. Pilavaki and C. Psychalinos, "Analog cochlear implant using Sinh-Domain filters," *2011 20th Eur. Conf. Circuit Theory Des. ECCTD 2011*, pp. 286–289, 2011, doi: 10.1109/ECCTD.2011.6043342.
- [30] M. Kongpoon, "A low-power and wide dynamic range class-AB Sinh differentiator," *ISPACS 2013 - 2013 Int. Symp. Intell. Signal Process. Commun. Syst.*, pp. 684–687, 2013, doi: 10.1109/ISPACS.2013.6704636.
- [31] F. A. Khanday, E. Pilavaki, and C. Psychalinos, "Ultra low-voltage ultra low-power Sinh-Domain Wavelet filter for electrocardiogram signal analysis," *J. Low Power Electron.*, vol. 9, no. 3, pp. 288–294, 2013, doi: 10.1166/jolpe.2013.1260.
- [32] M. Panagopoulou, C. Psychalinos, F. A. Khanday, and N. A. Shah, "Sinh-Domain multiphase sinusoidal oscillator," *Microelectronics J.*, vol. 44, no. 9, pp. 834–839, 2013, doi: 10.1016/j.mejo.2013.06.017.
- [33] G. Tsirimokou, C. Laoudias, and C. Psychalinos, "Tinnitus detector realization using sinh-domain

- circuits,” *J. Low Power Electron.*, vol. 9, no. 4, pp. 458–470, 2013, doi: 10.1166/jolpe.2013.1272.
- [34] F. Kafe and C. Psychalinos, “0.5 V RMS-to-DC Converter Topologies Suitable for Implantable Biomedical Devices”, *J. Low Power Electron.*, 10:3, 373-382, 2014.
- [35] G. Tsirimokou, C. Laoudias, and C. Psychalinos, “0.5-V fractional-order companding filters”, *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 43, 2014, doi: 10.1002/cta.1995.
- [36] N. A. Kant, F. A. Khanday, and C. Psychalinos, “0.5V Sinh-Domain Design of Activation Functions and Neural Networks,” *J. Low Power Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 201–213, 2014, doi: 10.1166/jolpe.2014.1321.
- [37] F. Kafe, F. A. Khanday, and C. Psychalinos, “A 50 mHz Sinh-Domain High-pass Filter for Realizing an ECG Signal Acquisition System,” *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 33, no. 12, pp. 3673–3696, 2014, doi: 10.1007/s00034-014-9826-1.
- [38] P. Bertias and C. Psychalinos, “Ultra-low voltage sixth-order low pass filter for sensing the t-wave signal in ECGs,” *J. Low Power Electron. Appl.*, vol. 4, no. 4, pp. 292–303, 2014, doi: 10.3390/jlpea4040292.
- [39] G. Tsirimokou and C. Psychalinos, “Ultra-low voltage fractional-order differentiator and integrator topologies: an application for handling noisy ECGs,” *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 81, no. 2, pp. 393–405, 2014, doi: 10.1007/s10470-014-0391-0.
- [40] F. Kafe and C. Psychalinos, “Realization of companding filters with large time-constants for biomedical applications,” *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 78, no. 1, pp. 217–231, 2014, doi: 10.1007/s10470-013-0165-0.
- [41] E. M. Kardoulaki, K. N. Glaros, A. G. Katsiamis, H. M. D. Ip and E. M. Drakakis, “A simulation study of high-order CMOS hyperbolic-sine filters”, *Int. J. Circ. Theor. Appl.*, vol. 42, pp. 1033–1050, 2014.
- [42] F. A. Khanday, C. Kasimis, C. Psychalinos, and N. A. Shah, “Sinh-Domain linear transformation filters,” *Int. J. Electron.*, vol. 101, no. 2, pp. 241–254, 2014, doi: 10.1080/00207217.2013.780265.
- [43] C. Kasimis and C. Psychalinos, “Sinh-Domain Universal biquad filters,” *J. Circuits, Syst. Comput.*, vol. 23, no. 9, pp. 1–19, 2014, doi: 10.1142/S0218126614501345.
- [44] F. A. Khanday and C. Psychalinos, “Ultra-low voltage MOS design of cochlear implant,” *Cochlear Implant. Technol. Adv. Psychol. Impacts Long-Term Eff.*, no. January 2014, pp. 143–162, 2014.
- [45] G. Tsirimokou, C. Psychalinos, F. A. Khanday, and N. A. Shah, “0.5 V sinh-domain differentiator,” *Int. J. Electron. Lett.*, vol. 3, no. 1, pp. 34–44, 2015, doi: 10.1080/00207217.2014.901425.
- [46] C. Psychalinos, K. Roumelioti, F. Khanday, and N. Shah, “1.2V Sinh-Domain allpass filter”, *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 43, 2013, doi:10.1002/cta.1922.
- [47] N. A. Kant, M. R. Dar, and F. A. Khanday, “An ultra-low-voltage electronic implementation of inertial neuron model with nonmonotonous Liao’s activation function,” *Netw. Comput. Neural Syst.*, vol. 26, no. 3–4, pp. 116–135, 2015, doi: 10.3109/0954898X.2016.1157733.
- [48] G. D. Skotis, F. A. Khanday, and C. Psychalinos, “Sinh-domain complex integrators,” *Int. J. Electron.*, vol. 102, no. 7, pp. 1073–1090, 2015, doi: 10.1080/00207217.2014.963891.
- [49] C. Diamantopoulos and C. Psychalinos, “Mihalas–Niebur model implementation using Sinh-Domain integrators,” *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 88, no. 1, pp. 161–171, 2016, doi: 10.1007/s10470-016-0751-z.
- [50] N. A. Kant, M. R. Dar, F. A. Khanday, and C. Psychalinos, “Ultra-low-Voltage Integrable Electronic Realization of Integer- and Fractional-Order Liao’s Chaotic Delayed Neuron Model,” *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 36, no. 12, pp. 4844–4868, 2017, doi: 10.1007/s00034-017-0615-5.
- [51] N. A. Kant, M. R. Dar, F. A. Khanday, and C. Psychalinos, “Analog implementation of TDCNN single-cell architecture using sinh-domain companding technique,” *2016 IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron. Inf. Commun. Technol. RTEICT 2016 - Proc.*, pp. 653–657, 2017, doi: 10.1109/RTEICT.2016.7807904.
- [52] F. A. Khanday, N. A. Kant, and M. R. Dar, “Low-Voltage Realization of Neural Networks using Non-Monotonic Activation Function for Digital Applications,” *Recent Adv. Electr. Electron. Eng. (Formerly Recent Patents Electr. Electron. Eng.)*, vol. 11, no. 3, pp. 367–375, 2018, doi: 10.2174/2352096511666180312144420.
- [53] G. S. S. S. V. K. Mohan and Y. Srinivasa Rao, “An efficient design of fractional order differentiator using hybrid Shuffled frog leaping algorithm for handling noisy electrocardiograms,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1080/1206212X.2019.1573948.

- [54] F. A. Khanday, N. A. Kant, M. R. Dar, T. Z. A. Zulkifli, and C. Psychalinos, "Low-Voltage Low-Power Integrable CMOS Circuit Implementation of Integer- and Fractional-Order FitzHugh-Nagumo Neuron Model," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 30, no. 7, pp. 2108–2122, 2019, doi: 10.1109/TNNLS.2018.2877454.
- [55] F. A. Khanday, M. R. Dar, N. A. Kant, T. Z. A. Zulkifli, and C. Psychalinos, "Ultra-low-voltage integrable electronic implementation of delayed inertial neural networks for complex dynamical behavior using multiple activation functions," *Neural Comput. Appl.*, vol. 32, no. 12, pp. 8297–8314, 2020, doi: 10.1007/s00521-019-04322-6.
- [56] N. A. Kant, F. A. Khanday, and C. Psychalinos, "0.5V Sinh-Domain Design of Activation Functions and Neural Networks," *J. Low Power Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 201–213, 2014, doi: 10.1166/jolpe.2014.1321.
- [57] F. A. Khanday, N. A. Kant, and M. R. Dar, "Low-voltage realization of neural networks using non-monotonic activation function for digital applications," *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering (Formerly Recent Patents on Electrical & Electronic Engineering)*, vol. 11, no. 3, pp. 367-375, 2018.
- [58] A. Houssein, and E. Drakakis, "MOS-only reduced-order ELIN cochlear channels: comparative performance evaluation," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 45, no. 6, pp. 731-743, 2016.

Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Çevresel Yapışkan Yüzeyli Halka Kesitli Bağlantıların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

Investigation of the Mechanical Behavior of Ring-Section Connections with Circumferential Adhesion Surfaces Combined with Adhesive

Anıl İMAK^{1*}, Aydın TURGUT²

¹ Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, aimak@bingol.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6091-1584

² Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, itumakaturgut@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-0574-7088

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 10 Mart 2021

Düzeltilme: 31 Mart 2021

Kabul: 1 Mayıs 2021

Anahtar kelimeler:

Halka kesitli çubuk, yapıştırıcı bağlantılar, gerilme analizi, burulma

ÖZET

Bu çalışmada; alın altına bindirmeli olarak yapıştırılmış halka kesitli bağlantıların çevresel yapışma yüzeylerinin bağlantı mukavemetine olan etkileri incelenmiştir. Halka kesitli bağlantıların alın altına birleştirilmesi için erkek ve dişi kalıp olarak üretilmişlerdir. Farklı iki yapıştırıcı (DP 410, DP 490), dört bindirme açısı (30°, 45°, 60°, 90°), iki bindirme iç çapı (15mm, 20mm) ve dört bindirme mesafesi (10mm, 20mm, 30mm, 40mm) ile yapıştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen parametreler ile alın altına bindirmeli olarak yapıştırılmış numunelerin burulma ve çekme deneyleri yapılmıştır. DP 410 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelerin DP 490 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelere göre çekme kuvveti değerleri daha yüksek çıkmıştır. Burulma davranışları açısından da DP 410 ile birleştirilen numuneler DP 490'a göre daha iyi davranış göstermiştir.

Doi: 10.24012/dumf.894417

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 March 2021

Revised: 31 March 2021

Accepted: 1 May 2021

Keywords:

Ring section bar, adhesive joints, stress analysis, torsion

ABSTRACT

In this study; the effects of the circumferential adhesion surfaces of the ring cross-section joints bonded with overlap on the bond strength were investigated. They are produced as male and female molds for joining ring cross-section connections. Bonding processes were carried out with two different adhesives (DP 410, DP 490), four overlap angles (30°, 45°, 60°, 90°), two overlapping inner diameters (15mm, 20mm) and four overlap distances (10mm, 20mm, 30mm, 40mm). Tensile and torsion tests of the overlapped samples were carried out according to the determined parameters. The tensile strength values of the samples bonded with DP 410 adhesive were higher than the samples bonded with DP 490 adhesive. In terms of torsional behavior, samples combined with DP 410 showed better behavior than DP 490.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Anıl İMAK

✉ aimak@bingol.edu.tr

Giriş

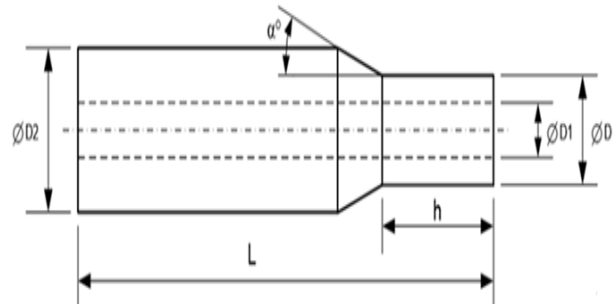
Otomotiv sanayisinde kullanılan güç iletiminin en önemli elemanlarından biri olan miller, çalışma yapısı olarak çoğunlukla eğilme ve burulmaya maruz kalmaktadır [1-3]. Günümüzde kompozit, plastik ve metal malzemelerin birleştirmelerinde çeşitli yapıştırıcıların kullanılması gün geçtikçe hızlı bir şekilde artış göstermektedir [4]. Metal-metal birleştirme bölgelerindeki iyileştirmelerde hassasiyetlere karşılık verebildiği için endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak yapıştırıcılar tercih edilmeye başlamıştır [5-7]. Yaygınlaşan yapıştırıcı kullanımı ile birlikte birleştirmede en önemli parametrelerin elde edilmesi içinde literatürde birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır [8,9]. Sülü [10], iç basınca maruz ve farklı yapıştırıcılar ile birleştirilen tabakalı kompozit boruların gerilme analizlerini gerçekleştirmiştir. Farklı birleştirme durumlarında, yama malzemesinin, kompozit tabaka sayısının, bindirme uzunluğunun, boru kalınlığının, oryantasyon açılarının bağlantı mukavemetine etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Solmaz [11], farklı yapıştırıcılar kullanarak farklı bindirme mesafelerinde farklı uç açısına sahip malzemeleri birleştirmiştir. Numunelerin çekme deneyi yapılmış ve bağlantıların hasar tipleri ile kuvvetleri belirlenmiştir. Mertiny ve Ursinus [12], yaptıkları çalışmada fiber takviyeli polimer kompozit boruların yorulma davranışlarını incelemiştir. Mekanik modellemeyle numune ve bağlantı noktalarındaki hasarları incelemiştir. Şekercioğlu vd. [13], silindirik geçmeli yapıştırma bağlantılarında yüzey pürüzlülüğünün etkisini incelemiştir. Deneyler hem dinamik hem de statik yükleme koşulları için yapılmıştır. Çok pürüzlü ve çok parlak yüzeylerde düşük kayma gerilmesi değerleri bulmuşlardır. Labbe ve Drouetn [14], aksenal yüklemeye maruz boruların bindirilerek birleştirilmesi ile ilgili araştırma yapmışlardır. En uygun bağlantı çeşitleri, yapıştırıcı uzunluğu, yapıştırıcı tabakası ve iç yüzey çapı ile karakterize edilirken, yüzey kalınlıkları arasında yarı-doğrusal bir ilişki olduğunu gözlemlemiştir. Shokrieh vd. [15], bir şaftın

burulma davranışını incelemişler ve kritik burkulma hesabı için sonlu elemanlar metodunu kullanmışlardır. Tabaka diziliminin, takviye açısının ve sınır şartlarının kompozit şaftın mekanik davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Croccolo vd. [16], sabitlenmiş ve yapışkanla yapıştırılmış silindirik mafsallarda yorulma dayanımını incelemiştir. Çelik-çelik bağlantıların mekanik davranışının alüminyum-çelik bağlantılardan oldukça farklı olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak alın alına bindirmeli olarak birleştirilmiş halka kesitli bağlantıların birleştirilmesinde yapıştırıcının ve çevresel yapışma yüzeyinin bağlantı mukavemetine etkisi incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Halka kesitli çubukların kademeli olarak alın alına birleştirildiği bu çalışmada, numunelerde dış çapı (ØD2) 30 mm ve iç çapları (ØD1) 10 mm olan St37 transmisyon çeliği kullanılmıştır. Geniş kullanım alanı, fiyat olarak uygunluğu ve kolay işlenebilir olduğundan dolayı transmisyon çeliği tercih edilmiştir. Şekil 1'de halka kesitli çubukların alın alına birleştirilmesi için erkek ve dişi kalıp olarak üretilen transmisyon çeliğinin değişken parametreleri olan h , α açısı ve ØD gösterilmiştir. DP 410 ve DP 490 olmak üzere iki farklı yapıştırıcı ile tabaka kalınlığı 0,2 mm olacak şekilde birleştirilen numunelerin Tablo 1'de parametreleri verilmiştir.

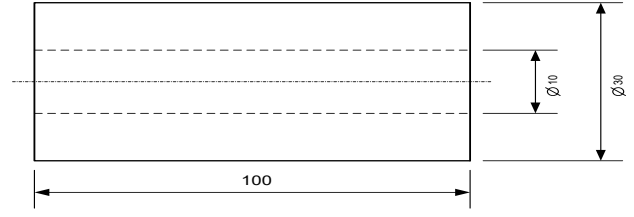


Şekil 1. Numunelerde değişkenlik gösteren h , α açısı ve ØD gösterimi

Tablo 1. Çalışmada kullanılan numunelerin parametreleri

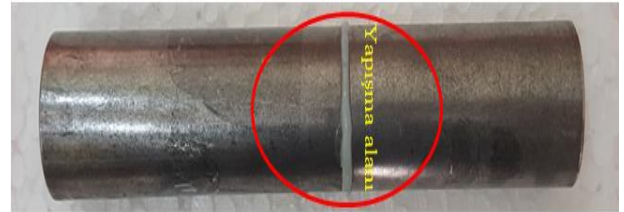
Numune No	D2(mm)	D1(mm)	D(mm)	L(mm)	h(mm)	α° (derece)
1	30	10	15	100	10	30
2	30	10	20	100	10	30
3	30	10	15	100	20	30
4	30	10	20	100	20	30
5	30	10	15	100	30	30
6	30	10	20	100	30	30
7	30	10	15	100	40	30
8	30	10	20	100	40	30
9	30	10	15	100	10	45
10	30	10	20	100	10	45
11	30	10	15	100	20	45
12	30	10	20	100	20	45
13	30	10	15	100	30	45
14	30	10	20	100	30	45
15	30	10	15	100	40	45
16	30	10	20	100	40	45
17	30	10	15	100	10	60
18	30	10	20	100	10	60
19	30	10	15	100	20	60
20	30	10	20	100	20	60
21	30	10	15	100	30	60
22	30	10	20	100	30	60
23	30	10	15	100	40	60
24	30	10	20	100	40	60
25	30	10	15	100	10	90
26	30	10	20	100	10	90
27	30	10	15	100	20	90
28	30	10	20	100	20	90
29	30	10	15	100	30	90
30	30	10	20	100	30	90
31	30	10	15	100	40	90
32	30	10	20	100	40	90
33	30	10	-	100	-	-

Çekme deneyi için numuneler S ile burulma için ise T ile belirtilmiştir. Yapıştırıcı ise değerlerde alt indis ile gösterilmiştir. Örneğin DP 410 yapıştırıcısı ile birleştirilmiş 1 nolu numunenin çekme kuvveti değeri S_{1410} ile belirtilmiştir. 33 nolu numune diğer numunelerden farklı olarak normal bir halka kesitli çubuğun alın altına birleştirilmesidir. Şekil 2’de 33 nolu numunenin katı model hali gösterilmiştir.



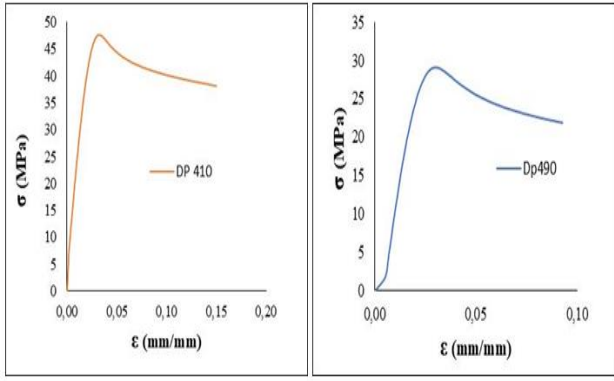
Şekil 2. Alın altına bindirme olmadan birleştirilen 33 nolu numunenin katı modeli

Belirlenen parametrelere göre CNC torna tezgahında numuneler üretilmiş ardından birleştirme işleminin yapılacağı yüzeyler daha iyi yapışma yüzeyi sağlamak için zımparalanmıştır. Zımparalama işleminin ardından aseton ile yüzeyler temizlenmiş ve tüm yüzeylere etki edecek şekilde yapıştırıcı sürülerek yapıştırılmıştır. Şekil 3’te alın altına bindirmeli olarak yapıştırıcı ile birleştirilmiş numunenin resmi verilmiştir.



Şekil 3. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş numune resmi

Bu çalışmada kullanılan DP 410 ve DP 490 yapıştırıcılarının gerilme şekil değiştirme grafikleri Şekil 4’te, mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Numunelerin deneysel olarak çekme ve burulma deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyleri SHIMADZU marka ve 250 kN kapasiteye sahip çekme test cihazında 1 mm/dak ilerlemeyle, burulma deneyleri ise JINAN NDW-200 marka ve maksimum çalışma torku 170 N.m olan burulma test cihazında dönme açısı 10 °/dak alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. DP 410 ve DP 490 yapıştırıcılarının gerilme-şekil değiştirme grafikleri

Tablo 2. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri

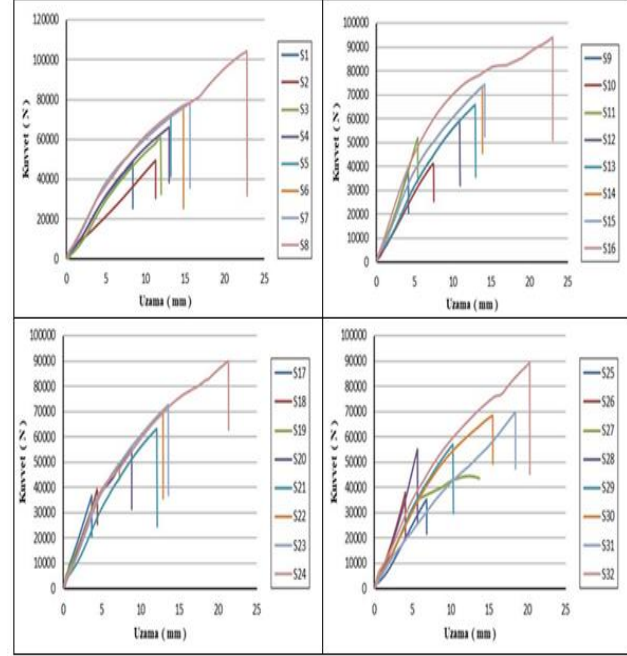
Özellikler	DP 410	DP 490
E (MPa)	2283,69	1237,88
v	0,44	0,38

Bulgular ve Tartışma

DP 410 ile Birleştirilen Numunelerde ‘h’ Bindirme Mesafesinin, ‘α’ Bindirme Açısının ve ØD Bindirme İç Çapının Çekme Kuvvetine Etkisinin İncelenmesi

DP 410 yapıştırıcısı kullanılarak dört farklı (10mm, 20mm, 30mm, 40mm) h bindirme mesafesinde, (30°,45°,60° ve 90°) dört farklı bindirme açısında ve (15mm, 20mm) iki farklı ØD bindirme iç çapında halka kesitli bağlantıların birleştirilmesi yapılmıştır. Yapılan birleştirmelerde değişen parametrelerin bağlantı mukavemetine etkisini incelemek için DP 410 ile birleştirilmiş numuneler çekme yüküne maruz bırakılmıştır. Numunelerin çekme deneyi sonuçları Şekil 5’ te verilmiştir. Birleştirmelerin çekme kuvvetleri altındaki davranışları incelendiğinde genel olarak h bindirme mesafesi ve D bindirme iç çapı arttıkça çekme yükünün arttığı, a bindirme açısı arttıkça çekme yükünün azaldığı görülmüştür. Çekme kuvvet değerleri incelendiği, maksimum ve minimum çekme kuvveti değerleri S8₄₁₀ ve S25₄₁₀ nolu numuneler de sırasıyla 104226,6 N ve 35328,13 N olarak elde edilmiştir. Bu durumun yapışma yüzey alanının artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Benzer sonuçların Çetkin’in

[17], yaptığı çalışmada farklı bindirme mesafelerinde yapıştırılan kompozit malzemelerin çekme deneylerinde yapışma alanının artmasıyla numunelerin hasar kuvvetlerinin arttığını belirtmiştir.

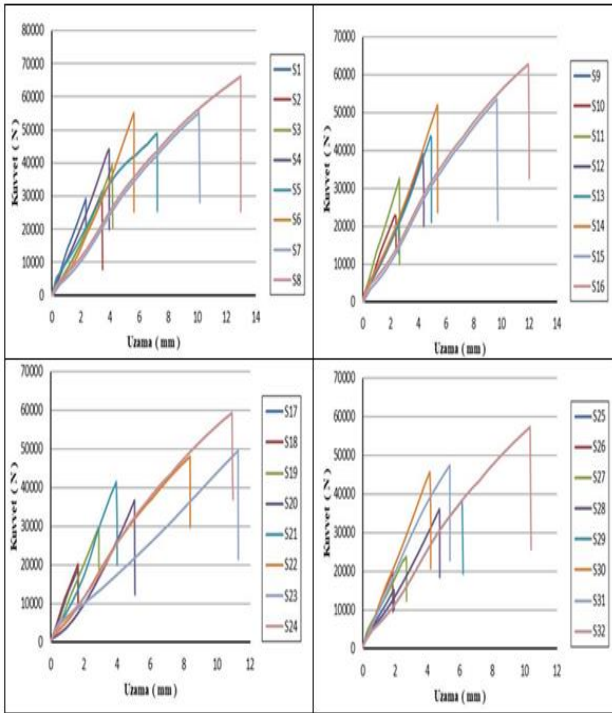


Şekil 5. DP 410 yapıştırıcı ile birleştirilmiş numunelerin Kuvvet – Uzama grafikleri

DP 490 ile Birleştirilen Numunelerde ‘h’ Bindirme Mesafesinin, ‘α’ Bindirme Açısının ve ØD Bindirme İç Çapının Çekme Kuvvetine Etkisinin İncelenmesi

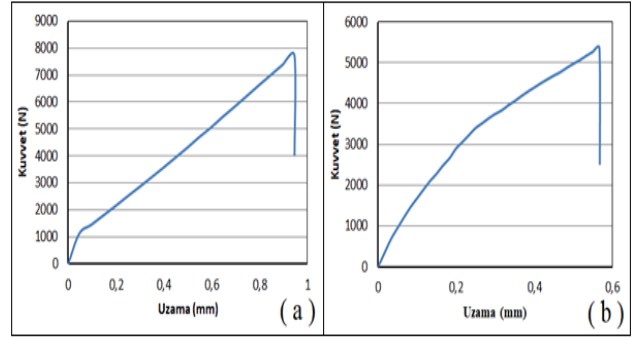
DP 490 yapıştırıcısı kullanılarak birleştirilen halka kesitli bağlantıların çekme kuvveti değerleri incelendiği, maksimum ve minimum çekme kuvveti değerleri S8₄₉₀ (a:30° h:40mm, D:20 mm) ve S25₄₉₀ (a:90° h:10mm, D:15 mm) numunelerin de sırasıyla 66183,59 N ve 15054,69 N olarak elde edilmiştir. DP 410 ile yapıştırılan numunelerin hasar yüklerinde olduğu gibi yapışma yüzey alanı artışıyla çekme kuvveti değerlerinde artış gözlemlenmiştir (Şekil 6). Ancak Şekil 4’te görüldüğü gibi DP 410 yapıştırıcısının yapışma mukavemeti DP 490’dan daha iyi olduğu için, DP 410 ile birleştirilen numunelerin hasar kuvvetleri daha yüksek elde edilmiştir. Aydın [4], yapıştırıcı ile birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantıların bağlantı mukavemetine bindirme mesafesinin,

yüzey pürüzlülüğünün ve yapıştırıcı kalınlığının etkisini araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda yüzey pürüzlülüğünün ve bindirme mesafesinin artması ile bağlantı mukavemetinin arttığını belirtmiştir. Tuzcu [18], farklı yapıştırıcılar ile tamir edilmiş hasarlı izotropik borularda yapıştırıcıların performanslarının incelenmesi adlı tez çalışmasında, bindirme açısının artırılması sonucunda yama ve yapıştırıcı yüzey alanı arttırdığından dolayı yükleme altında boru hasar yükü artışının daha fazla olduğu görmüştür. Ayrıca bindirme açılarının artırılması sonucunda yapıştırıcıda oluşan gerilmelerin büyük oranda azaldığı görülmüştür.



Şekil 6. DP 490 yapıştırıcı ile birleştirilmiş numunelerin Kuvvet – Uzama grafikleri

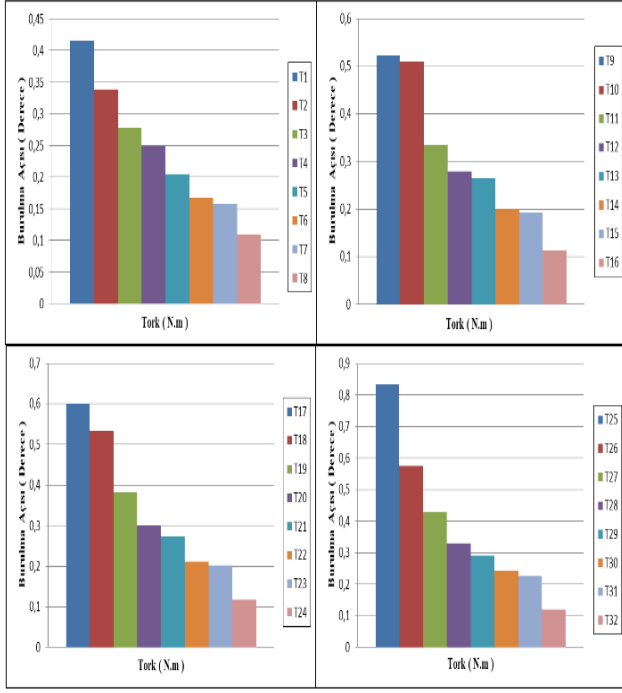
DP 410 ve DP 490 yapıştırıcısı ile birleştirilmiş ve 33 numara ile belirttiğimiz alın altına birleştirilmiş numunelerin çekme deneyi sonuçları Şekil 7’de verilmiştir. Bindirmeli olarak birleştirilmiş numuneler alın altına birleştirmelere göre daha iyi mekanik davranış sergilemiştir. Çünkü en düşük yapışma yüzey alanı 33 numaralı numunelerde mevcuttur.



Şekil 7. (a) DP 410 ile alın altına birleştirilmiş numune, (b) DP 490 ile alın altına birleştirilmiş numune

DP 410 ile Birleştirilen Numunelerde ‘h’ Bindirme Mesafesinin, ‘ α ’ Bindirme Açısının ve ØD Bindirme İç Çapının Burulma Açısına Etkisinin İncelenmesi

JINAN NDW-200 marka ve maksimum çalışma torku 170 N.m olan burulma cihazında yapılan burulma deneylerinde numuneler deneyler sonucunda hasara uğramamıştır. Bunun için burulma torkunu 70 N.m seçerek bu torka denk gelen burulma açılarını numuneler arasında değerlendirilmiştir. DP 410 yapıştırıcısı kullanılarak birleştirilen numunelerin burulma altındaki davranışları incelendiğinde genel olarak h bindirme mesafesi ve D bindirme iç çapı arttıkça burulma açısının azaldığı, a bindirme açısı arttıkça burulma açısının arttığı görülmüştür. Burulma açısı değerleri incelendiğinde, maksimum ve minimum burulma açıları T25₄₁₀ ve T8₄₁₀ nolu numuneler de sırasıyla 0,8334° ve 0,1094° olarak elde edilmiştir (Şekil 8).

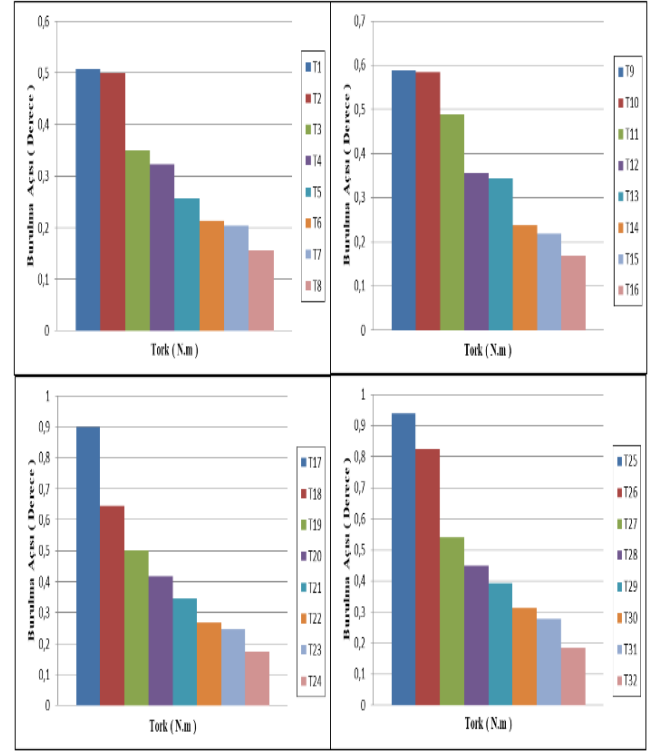


Şekil 8. DP 410 yapıştırıcısı kullanılarak birleştirilen numunelerin burulma açısı grafikleri

DP 490 ile Birleştirilen Numunelerde ‘h’ Bindirme Mesafesinin, ‘α’ Bindirme Açısının ve ØD Bindirme İç Çapının Burulma Açısına Etkisinin İncelenmesi

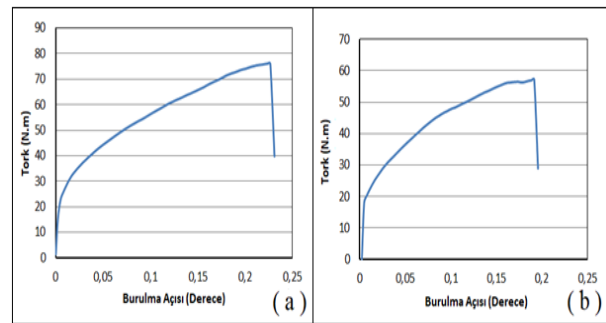
DP 490 ile birleştirilen numunelerin burulma altındaki davranışları incelendiğinde maksimum ve minimum burulma açıları T25₄₉₀ ve T8₄₉₀ nolu numuneler de sırasıyla 0,9401° ve 0,1559° olarak elde edilmiştir (Şekil 9). Çekme deneylerinde olduğu gibi yapışma mukavemeti daha iyi olan DP 410 ile yapıştırılan numunelerin burulma yükleri altında DP 490 ile birleştirilen numunelere göre daha az hasar uğramıştır. Ayrıca Şekil 8 ve Şekil 9’un aynı tork yükü altındaki burulma dirençlerine bakıldığında yapışma alanının artmasıyla numunelerin hasar yüklerine karşı daha iyi direnç gösterdiğini görülmektedir. Da Silva vd. [19], Adams ve Harris [20], Da Silva ve Marques [21], yaptıkları çalışmalarında; mekanik dayanımı yüksek bir yapıştırma bağlantısının elde edilmesi, birleştirilen parçaların ve yapıştırıcının türüne, seçilen yüzeye, bindirme mesafesine, kalınlığına, ortam

sıcaklığına ve bağlantı modelinin geometrisine bağlı olduğunu vurgulamışlardır.



Şekil 9. DP 490 yapıştırıcısı kullanılarak birleştirilen numunelerin burulma açısı grafikleri

DP 410 ve DP 490 yapıştırıcılarıyla alın altına kademeli olarak birleştirilen 33 nolu numune için elde edilen Tork – Burulma açısı grafikleri Şekil 10’dadır. Kademeli yapıştırma birleştirmelerinde olduğu gibi DP 410 ile alın altına birleştirilen numunenin burulmaya karşı gösterdiği direncin daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 10. (a) DP 410 ile birleştirilen, (b) DP 490 ile birleştirilen numune

Sonuçlar

Bu çalışmada; halka kesitli çubukların birleştirilmesinde bağlantıların etkisi incelenmiştir. İki farklı özelliğe sahip yapıştırıcı kullanılarak farklı bindirme mesafesine, farklı bindirme açısına ve farklı bindirme iç açısına sahip malzemeler birleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin çekme ve burulma davranışları incelenmiştir.

Birleştirilen numunelerin çekme kuvvetleri altındaki davranışları incelendiğinde genel olarak h bindirme mesafesi ve ØD bindirme iç çapı artıkça çekme yükünün arttığı ve α açısı artıkça çekme yükünün azaldığı görülmüştür.

DP 410 ve DP 490 yapıştırıcısı ile bindirmeli olarak alın alına birleştirilen halka kesitli çubuk numuneler, alın alına birleştirilmiş numunelere oranla gerek çekme deneylerinde gerekse burulma deneylerinde mekanik davranış olarak daha iyi sonuçlar vermiştir.

DP 410 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelerin DP 490 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelere göre çekme kuvveti değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Burulma davranışları açısından da DP 410 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelerin DP 490 yapıştırıcısıyla yapıştırılan numunelere göre daha iyi davranış göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi Tarafından BAP-MMF.2018.00.003 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Bingöl Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] J.W. Kwon, D.G. Lee, "The Effects of Surface Roughness and Bond Thickness on the Fatigue Life of Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joint", *Journal Adhesion Science Technology*, vol. 14, no 8, pp. 1085–1102, 2000.
- [2] Z. Ouyang, G. Li, "Cohesive Zone Model Based Analytical Solutions For Adhesively Bonded Pipe Joints Under Torsional Loading", *International Journal of Solids and Structures*, vol. 46, pp. 1205–1217, 2009.

- [3] O. Nemes, F. Lachaud, "Double-Lap Adhesive Bonded-Joints Assemblies Modeling", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 30, pp. 288–297, 2010.
- [4] Sinan Aydın, "Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012.
- [5] R.D. Adams, N.A. Peppiatt, "Stress Analysis of Adhesive Bonded Tubular Lap Joints", *Journal Adhesion*, vol. 9, pp. 1-18, 1997.
- [6] S. Aimmanee, P. Hongpimolmas, "Stress Analysis of Adhesive-Bonded Tubular-Coupler Joints with Optimum Variable-Stiffness Composite Adherent under Torsion", *Composite Structures*, vol. 164, pp. 76-89, 2017.
- [7] M. Albiez, T. Vallee, H. Fricke, T. Ummenhofer, "Adhesively Bonded Steel Tubes-Part I: Experimental Investigations", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 90, pp. 199-210, 2019.
- [8] Y.P. Shi, S. Cheng, "Analysis of Adhesive-Bonded Cylindrical Lap Joints Subjected to the Axial Load", *Journal Engineering Mechanics*, vol. 119, no 3, pp. 584-602, 1993.
- [9] M. Imanaka, H. Nakayama, K. Morikawa, M. Nakamura, "Evaluation of Fatigue Life of Adhesively Bonded CFRP Pipe/Steel Rod Joints", *Composite Structures*, vol. 31, pp. 235-241, 1995.
- [10] İsmail Yasin Sülü, "İç Basınca Maruz Tabakalı Kompozit Boruların Farklı Birleştirme Yöntemleri ile Yapıştırılması ve Gerilme Analizi", Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2012.
- [11] Murat Yavuz Solmaz, "Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008.
- [12] P. Mertiny, K. Ursinus, "A Methodology for Assessing Fatigue Degradation of Joined Fibre-Reinforced Polymer Composite Tubes", *Polymer Testing*, vol. 26, pp. 751–760, 2007.
- [13] T. Sekercioğlu, H. Rende, A. Gülsöz, C. Meran, "The Effects of Surface Roughness on the Strength of Adhesively Bonded Cylindrical Components", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 142, pp. 82–86, 2003.
- [14] S. Labbe, J.M. Drouetn, "A Multi-Objective Optimization Procedure for Bonded Tubular-Lap Joints Subjected to Axial Loading", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 33, pp. 26–35, 2012.

- [15] M.M. Shokrieh, A. Hasani, L.B. Lessad, "Shear Buckling of Composite Drive Shaft Under Torsion", *Composite Structures*, vol. 64. Pp. 63-69, 2004.
- [16] D. Croccolo, D.M. Agostinis, N. Vincenzi, "Static and Dynamic Strength Evaluation of Interference Fit and Adhesively", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 30, pp. 359-366, 2010.
- [17] E. Çetkin, "Determination of Tensile Strength of Jute Reinforced Polymer Matrix Composites Bonded in Different Overlap Lengths", *Uluslararası Bilim ve Mühendislik Sempozyumu, Siirt Üniversitesi, Siirt*, (2019).
- [18] Zeynal Tuzcu, "Farklı Yapıştırıcılar ile Tamir Edilmiş Hasarlı İzotropik Borularda Yapıştırıcıların Performanslarının İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman*, 2018.
- [19] L.F.M. Da Silva, R.J.C. Carbas, G.W. Critchlowb, M.A.V. Figueiredo, K. Brown, "Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 29, no 6, pp. 621-632, 2009.
- [20] R.D. Adams, J.A. Harris, "Stress analysis of adhesive-bonded lap joints", *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, vol. 9, no 3, pp. 185-196, 1974.
- [21] L. F. M. Da Silva, E.A.S. Marques, "Joint Strength Optimization of Adhesively Bonded Patches", *The Journal of Adhesion*, vol. 84, pp. 915–934, 2008.

Effect of pine resin on the thermal and mechanical properties of plaster with pumice

Ayşe Biçer*¹¹ Department of Bioengineering, Malatya Turgut Özal University, Orcid: 0000-0003-4514-5644

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 March 2021
Received in revised form 30 March 2021
Accepted 1 May 2021
Available online 22 June 2021

Keywords:

Pumice, pine tree resin, gypsum,
insulation plaster

ABSTRACT

This study investigated the effect of pine resin on the thermal and mechanical properties of gypsum plasters with pumice aggregate. Pumice rock was crushed and sieved into three grain sizes (2-5 mm, 5-8 mm, and 8-12 mm). Each group was mixed separately with non-resinous and resinous gypsum in the proportions of 20%, 40%, 60%, and 80%. The resin was added to the gypsum at 2% of its total weight (gypsum + pumice) to generate artificial pores and improve the binding power of the gypsum. Twenty-four samples were produced in different combinations. The test results showed that resin reduced the thermal conductivity and improved the compressive stress of the plasters. They had a water absorption of greater than 30%, suggesting that they can be used in interior plasters and painted with any paint. In conclusion, they can be used as interior plasters for both insulation and strength.

Doi: 10.24012/dumf.892287

Nomenclature

Φ : Porosity, (%)
 ρ : Density, (g/cm³)
W : Weight of sample (g)
Z : Pumice ratio, (%)
1-Z : Gypsum ratio, (%)
WAR : Water absorption ratio, (%)
P : Pumice

Subscripts

gs : Grain sizes
pumice : Pumice
pumice matrix : Pumice with 0 % porosity ratio
gypsum matrix : Gypsum with 0 % porosity ratio
d : Wet
k : Dry

* Corresponding author

Ayşe Biçer E-mail: ayse.bicer@ozal.edu.tr

Introduction

The escalating costs of energy and building materials increase the demand for natural and cost-effective materials with high resistance to heat conduction. Natural lightweight aggregates may allow us to manufacture low-density plasters. Lightweight aggregates are generally divided into two: natural and artificial. The first group includes pumice, diatomite, volcanic slag, etc., while the second group includes perlite, schist, expanded clay (EC), vermiculite, slate, etc. [1]. Pumice is a highly porous and glassy volcanic rock. The porous structure allows it to float on water when most of it is dry. In other words, it has a specific gravity of smaller than 1. Its advantages are heat and sound insulation, fire resistance, and ease of cutting, shaping, and nailing [2].

Research on the topic can be summarized in two groups. The first group consists of studies on low-density and porous aggregate concretes. For example, Babu et al. [3] used fly ash, expanded polystyrene (EPS), and sand to manufacture concretes with a compressive strength of 12 MPa. Bicer [4] mixed fly ash aggregate and gypsum (a binder agent) at ratios of up to 90% to produce plaster with thermal conductivity of 0.248 W/mK. Devecioglu and Bicer [5] added 80% EC and 1% tragacanth resin to produce concretes with thermal conductivity of 0.140 W/mK. Many other researchers have conducted similar studies on EC aggregate concretes [6-13]. Kaya and Kar [14] added 80% EPS aggregate and 1% tragacanth to produce concrete with thermal conductivity of 0.50 W/mK. They also produced concretes with a compressive strength of 10.85 MPa out of samples with 20% EPS aggregate. Demirel [15] used EPS + pumice aggregates to produce concrete with 0.330 W/mK thermal conductivity. Nabajyoti and Brito [16], Sulkowski et al. [17], Demirboga and Kan [18], Abbes et al., [19], and Benazzouk et al. [20] have conducted similar studies

similar studies similar studies.

The second group of studies focuses on pumice aggregates. For example, Bicer and Celik [21] used pumice aggregate and pine resin to manufacture concretes with thermal conductivity of 0.231 W/mK. Akpınar et al. [22] used 80% pumice in concretes with pumice aggregate and 1% tragacanth resin to manufacture concretes with thermal conductivity of 0.186 W/mK.

This study investigated the effect of pine resin on the thermal and mechanical properties of gypsum plasters with pumice aggregate in different proportions. Pumice rock was crushed and sieved into three grain sizes (d_{gs} : 2-5 mm, d_{gs} : 5-8 mm, and d_{gs} : 8-12 mm). Each aggregate group was mixed with the binder in the proportions of 20%, 40%, 60%, and 80% (each plaster and plaster + pine resin mixture) to manufacture samples ($n=24$). Unlike earlier studies, this study involved the addition of resin (in the form of powder or extract) to the gypsum at 2% of its total weight (plaster + pumice) to generate artificial pores and improve the binding power of gypsum. This study made use of the property of resin hardening when it dries.

Materials and Methods

Materials

Pumice:

Pumice is a spongy-looking volcanic tuff-type material with separate macro and micropores and high heat and sound insulation (Fig. 1). It has a density of smaller than 1 kg/dm³ and a thermal conductivity of 0.1 to 0.6 kcal/m²h°C.

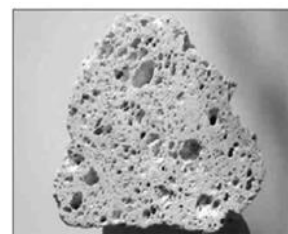


Fig.1. Porous pumice: a cross-sectional view
Gypsum:

Satin plaster was used as a binder in the plaster because it takes it longer to dry and harden. Table 1 shows the chemical composition of the

pumice and gypsum.

Table 1. Chemical composition of the components

Chemical characteristics	Pumice (%)	Gypsum (%)
SiO ₂	53.83	0.9
Al ₂ O ₃	14.81	0.8
Fe ₂ O ₃	4.61	-
CaO	4.64	94.7
MgO	2.75	3.9
Na ₂ O	3.64	-
K ₂ O	4.38	-
TiO ₂	0.63	-
Loss on ignition	3.49	-
Not available	-	-

Pine tree resin:

The natural resin seeps from the bark and hardens when it interacts with oxygen, and after a while, it sticks to where it flows (Fig. 2). We ground resin into powder and then kept it in powder form or in water for 24 hours. Afterward, we mixed it with gypsum in the extract form and used it in plaster samples for two reasons. First, resin absorbs some water and expands. It then discharges that water while it dries and forms artificial micropores in the plaster structure, resulting in high insulation. Second, the dried resin hardens, resulting in improved binding properties (Fig. 2).



Fig. 2. Natural, dried, powder and extract resin

Preparation of samples

Pumice rock was crushed and sieved into grain sizes of 2-5 mm (Group A; $\rho=0.94 \text{ g/cm}^3$), 5-8

mm (Group B; $\rho=0.88 \text{ g/cm}^3$), and 8-12 (Group C; $\rho=0.82 \text{ g/cm}^3$) (Fig. 3). Each group was mixed with aggregate (in 1:5, 2:5, 3:5, and 4:5 ratios) to produce samples. The ratio of gypsum (G), water (W), and diluted resin (R) was $(W+R)/G=0.5$. The samples were dried in 100x100x100 mm (for mechanical tests) or 20x50x140 mm molds (for thermal tests) at room temperature. They were then packaged and prepared for measurements.



Fig 3. View of different grain size pumice

Testing methods

Thermal conductivity was measured using the hot wire method in a Shotherm Quick Thermal Conductivity Meter Unit, according to DIN 51046 standards. The thermal conductivity values ranged from 0.02 to 10 W/mK, while the sensitivity ranged from -5 % to +5% (Fig. 4) [22]. All samples were measured at room temperature at three different points (22-25°C). The absolute thermal conductivity was the arithmetic mean of the test values.



Fig 4. Thermal conductivity meter unit

Mechanical strength tests were performed according to the ASTM C 109-80 standard. Compressive strength tests were performed on each sample block [23].

A water absorption test (WAR) is used to determine the amount of water absorbed under specified conditions. Water absorption is an important parameter affecting the suitability of material against freezing hazards. The critical moisture content is 30%, below which the material does not deform when freezing [14]. The experiments were performed according to the BS 812. Part 2 standard [24]. We need to calculate dry (W_d) and wet weights (W_k) to determine the water absorption rate. We used Eq. 1 (Table 3) to calculate the water absorption of the samples

$$WAR = \{(W_d - W_k) / W_k\} \cdot 100 \quad (1)$$

Porosity is defined by Eq (2), [17].

$$\Phi = 1 - \frac{\rho_P \cdot Z + \rho_{\text{gypsum}} \cdot (1-Z)}{\rho_{\text{P matrix}} \cdot Z + \rho_{\text{gypsum matrix}} \cdot (1-Z)} \quad (2)$$

where ρ_P is the density of the pumice, $\rho_{\text{P matrix}}$ is the density of the pumice after milling (therefore causing no porosity), ρ_{gypsum} is the density of the mixture of gypsum + resin, $\rho_{\text{gypsum matrix}}$ is the density of the mixture of gypsum + resin with 0 % porosity ratio, Z is the pumice ratio (%), and $(1-Z)$ is the gypsum ratio (%). Porosity was calculated using Table 3.

Results and Discussions

Extra artificial pores were formed in the gypsum part of the samples. Artificial pores are a result of resin absorbing water and then losing it during drying. Therefore, the resinous plaster samples with pumice had less density but more porosity than non-resinous samples. A decrease in grain diameter in the aggregate results in the disappearance of some of the pores of the pumice and an increase in density (Fig 5 and Fig. 6). While the pumice aggregate ratio increased from 20% to 80%, Groups A, B, and C had a density reduction of 35.62%, 31.44%, and 28.76%, respectively. Groups A, B, and C had a density reduction of 1.61%-3.83%, 7.51%-13.97%, 4.69-12.95%, respectively, due to the resin. Groups A, B, and

C had increased porosity of 01% to 50.35%, 17.13% to 45.40%, and 11.20% to 40.47%, respectively.

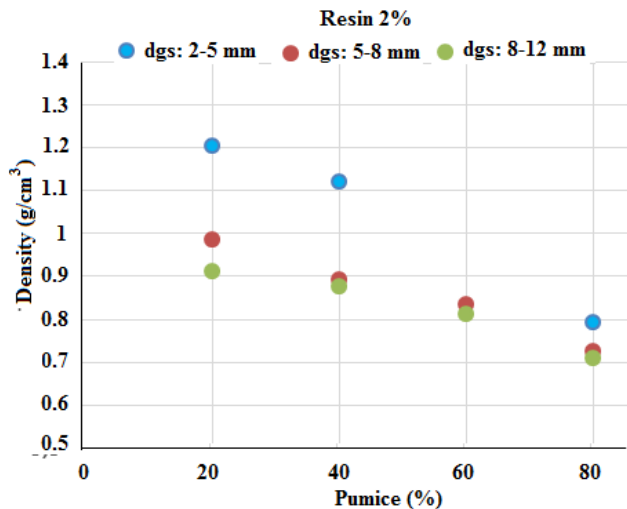
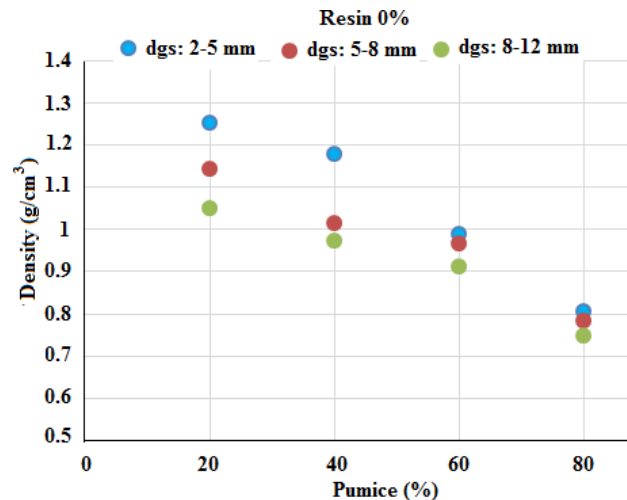


Fig. 5. Relationship between density-pumice and resin percentage a) Resin (0%), b) Resin (2%)

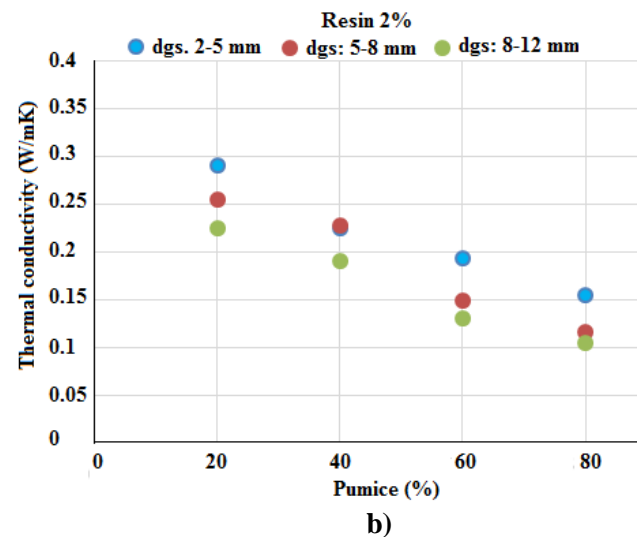
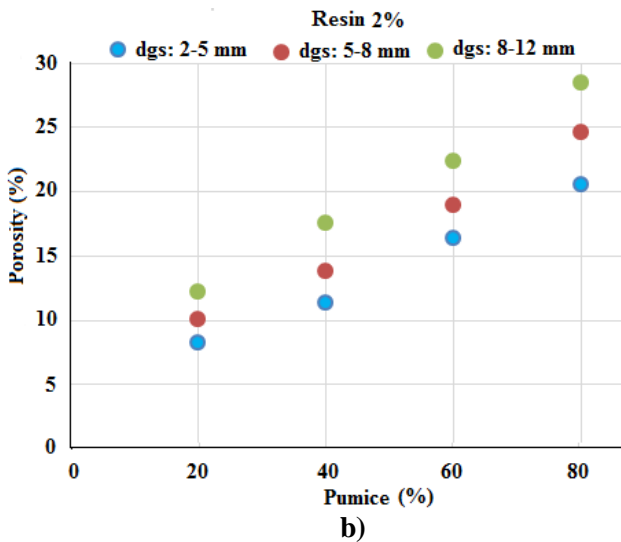
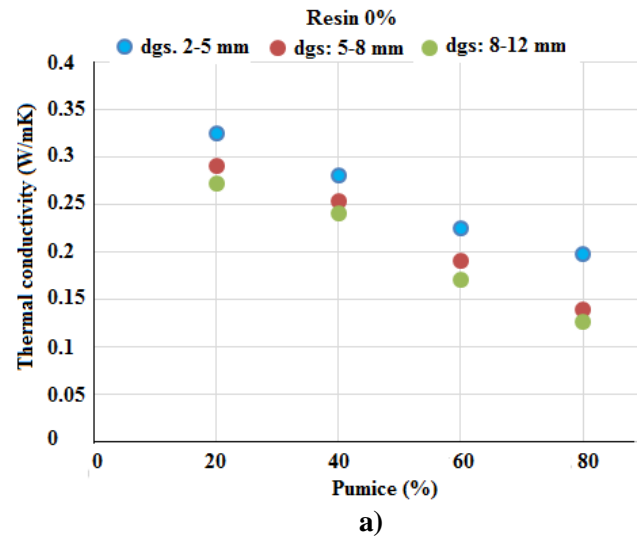
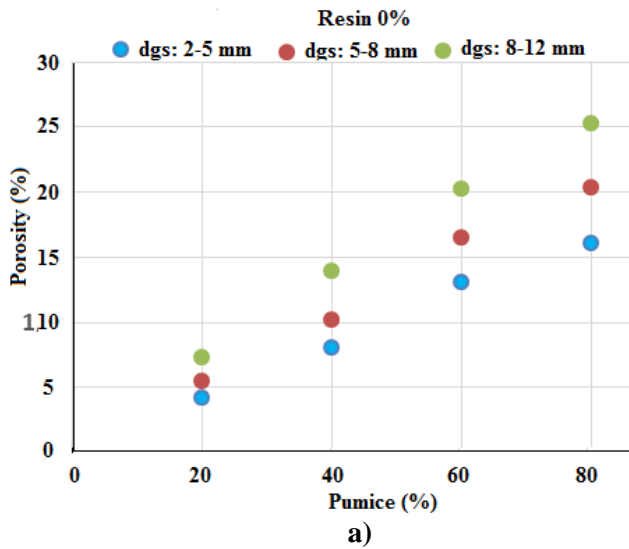


Fig. 6. Porosity ratio versus pumice percentages
a) Resin (0%), b) Resin (2%)

Fig. 7. The relationship between thermal Conductivity - pumice and resin percentage
a) Resin (0%), b) Resin (2%)

As the aggregate ratio increased, the thermal conductivity of Groups A, B, and C decreased by 39.07%, 52.06%, and 53.30%, respectively (Fig.7). Groups A, B, and C had a reduction of 10.76%, 12.06%, and 17.27%, respectively (Fig.8). Group C had the lowest thermal conductivity because the smaller the grain size, the less the aggregate porosity due to disintegration. Groups A and B should be used in thin plasters, while group C should be used in rough plasters.

Samples with high pumice content (60% and 80%) had lower thermal conductivity than various plaster materials (Table 5), mainly due to the porous nature of the pumice and the resin added to the plaster. The samples had the same thermal conductivity values as those in Ref [5] and lower thermal conductivity values than those in Ref [2, 4, 15, 20, 21] (Table 6). The aggregate ratio and resin addition gave the plaster samples sound and thermal insulation.

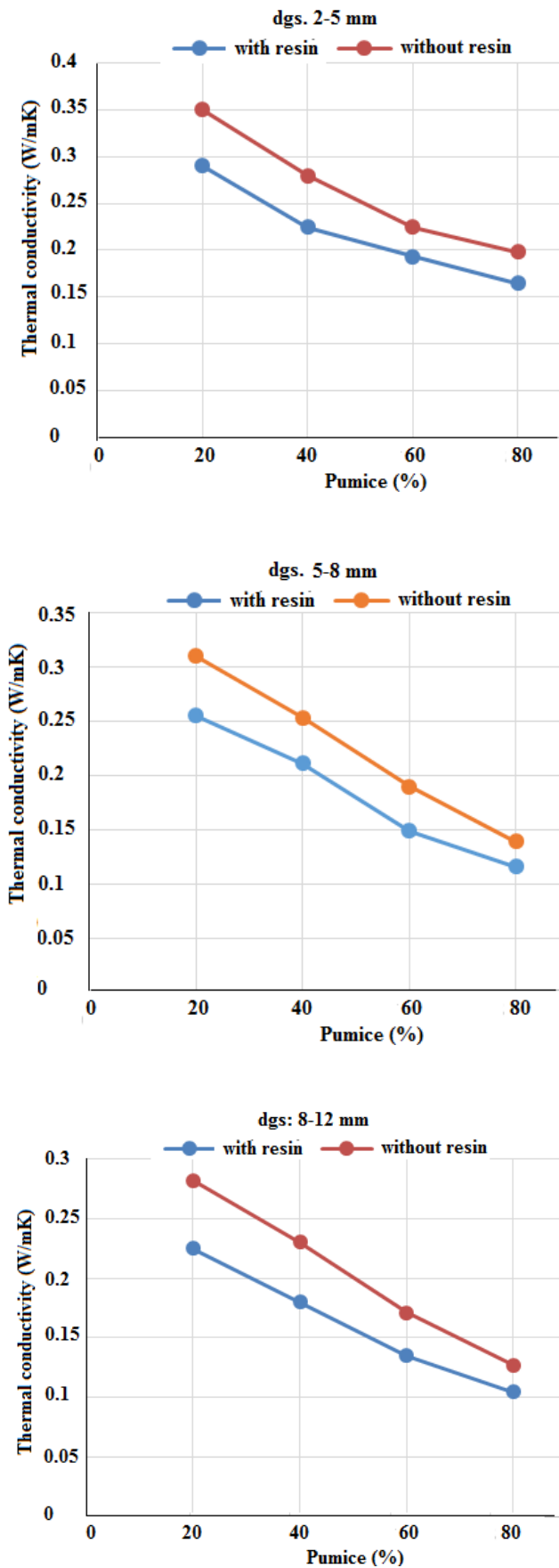


Fig. 8. The effect of aggregate size and ratio and resin on thermal conductivity

The smaller the aggregate size, the greater the compressive strength (Fig.9-a).

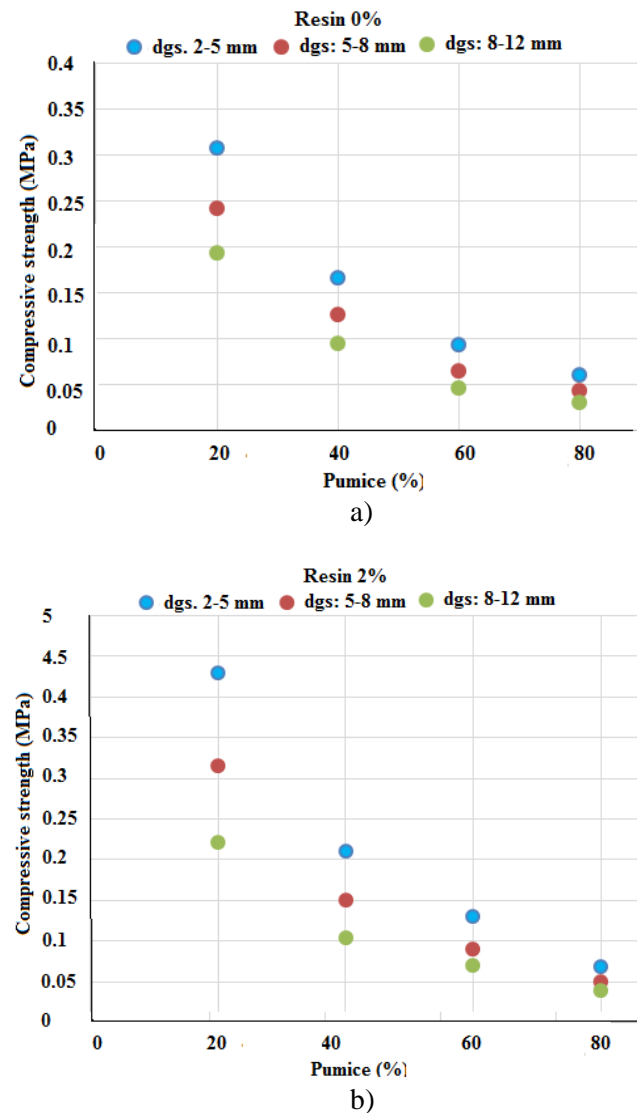


Fig. 9. Compressive strength ratio versus pumice percentages a) Resin (0%), b) Resin (2%)

The larger the aggregate size, the smaller the compressive strength. Groups A, B, and C had a reduction of 80.19%, 78.09%, and 84.02%, respectively. With the resin addition, Groups A, B, and C had an increase in strength by 13.11% - 39.28%, 30.16% - 52.83%, 14.43-29.03%, respectively (Fig. 9-b and Fig. 10), which is because the resin hardens after drying. The results suggest that resinous plasters with pumice aggregate have good enough heat and sound insulation and strength to be used as interior plasters.

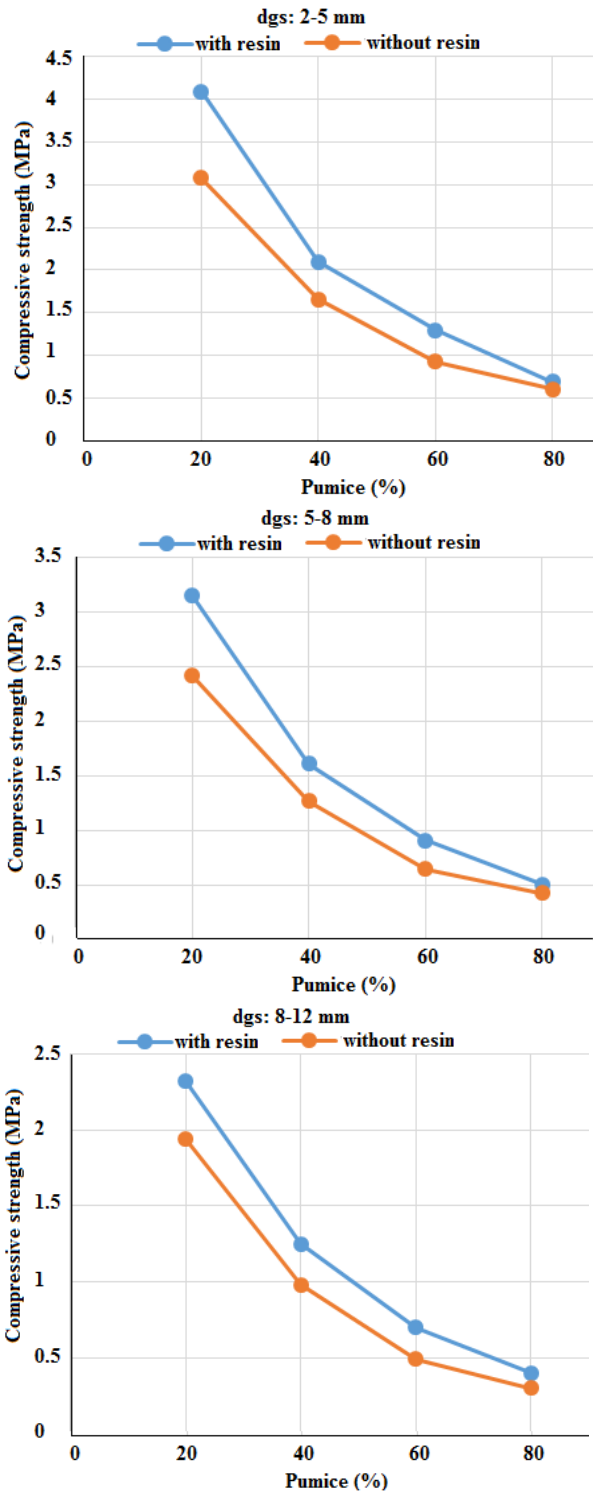


Fig. 10. Effect of aggregate size and ratio and resin on compressive strength

The samples had a greater water absorption than the critical value of 30% (Fig. 11), [17]. This shows that resinous gypsum plasters should not be used in places that come in direct contact with water because they are at risk of freezing, cracking, and splintering below 0 °C.

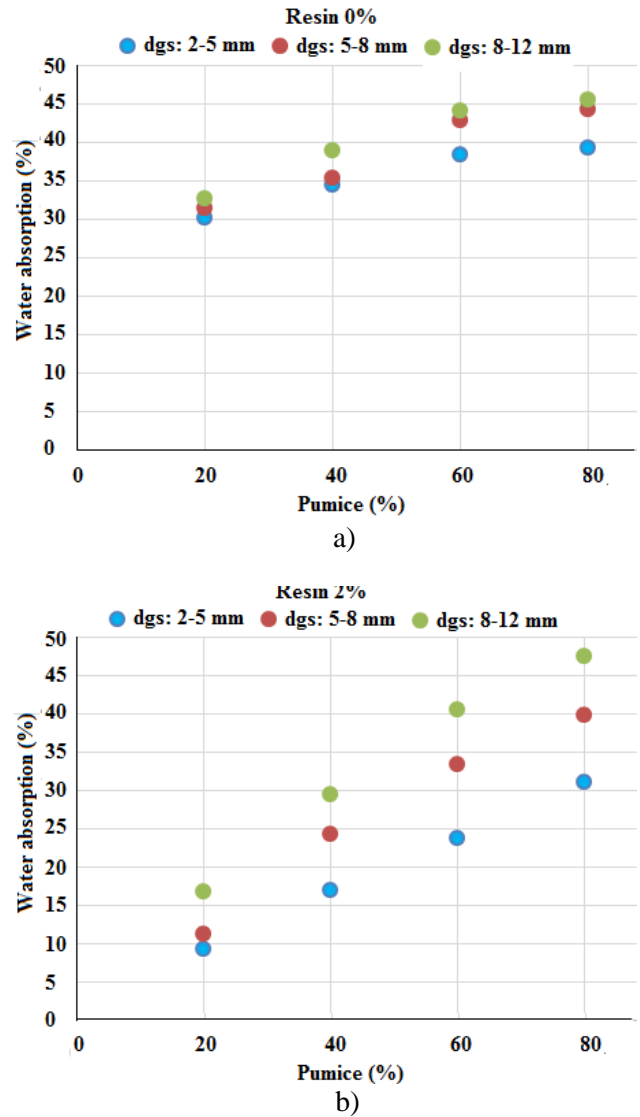


Fig. 11. Water absorption ratio of samples versus pumice percentages a) Resin (0%), b) Resin (2%)

The dying tests indicated that the samples could be used as insulation or interior plasters (Fig. 12).

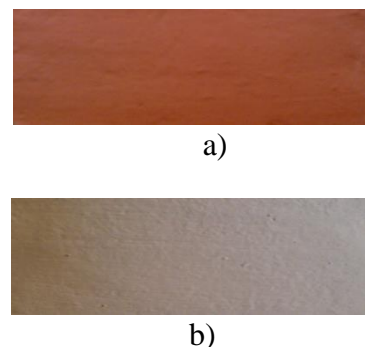


Fig. 12. Different types of dyes a) Silicone rubber coating, b) oil painting

Table 2. Mixing ratio of samples

Samples	Weight (gram)		Total weight (gram)	Resin (gram)	Resin (liter)	(W+R)/G
	Pumice	Gypsum				
d _{gs} : 2-5, Pine resin (0 %)						
1	75.3	380	455.3	-	-	0.5
2	150.6	760	910.6	-	-	
3	220.9	1140	1360.9	-	-	
4	301.2	1520	1821.2	-	-	
d _{gs} : 5-8, Pine resin (0 %)						
5	60	380	440	-	-	0.5
6	120.6	760	880.6	-	-	
7	180.9	1140	1320.9	-	-	
8	240.2	1520	1760	-	-	
d _{gs} : 8-12, Pine resin (0 %)						
9	50	380	430	-	-	0.5
10	100	760	860	-	-	
11	150.5	1140	1290.5	-	-	
12	200.2	1520	1720.2	-	-	
d _{gs} : 2-5, Pine resin (2 %)						
13	75.3	380	455.3	9.6	0.3	0.5
14	150.6	760	910.6	19	0.6	
15	220.9	1140	1360.9	28	0.9	
16	301.2	1520	1821.2	38	1.2	
d _{gs} : 5-8, Pine resin (2 %)						
17	60	380	440	9	0.29	0.5
18	120.6	760	880.6	18	0.58	
19	180.9	1140	1320.9	27	0.87	
20	240.2	1520	1760	36	1.16	
d _{gs} : 8-12, Pine resin (2 %)						
21	45	380	425	8.5	0.28	0.5
22	101	760	860	17	0.56	
23	151.5	1140	1290.5	26	0.84	
24	202	1520	1720.2	34	1.12	

W:Water, R:Resin, G:Gypsum, Resin= Total weight (g) x Resin ratio (%)

Table 3. Pumice aggregate and gypsum density (g/cm³)

	d _{gs} :2-5 mm	d _{gs} :5-8 mm	d _{gs} :8-12 mm	matrix
Pumice	0.94	0.88	0.82	2.655
gypsum		2.25		2.485

Table 4. Thermal and mechanical properties

Code	Pumice, grain sizes (mm)	Pumice ratio (%)	Density (g/cm ³)	Porosity (%)	Thermal conductivity (W/m K)	Compre. strength (MPa)	Water absorption (%)
Pine tree resin 0 %							
1	2-5	20	1.252	4.18	0.325	3.08	30.19
2	“	40	1.180	8.09	0.280	1.66	34.46
3	“	60	0.989	13.14	0.225	0.93	38.50
4	“	80	0.806	16.07	0.198	0.61	39.43
5	5-8	20	1.145	5.53	0.290	2.42	31.58
6	“	40	1.015	10.24	0.253	1.27	35.44
7	“	60	0.968	16.51	0.190	0.65	42.86
8	“	80	0.785	20.41	0.139	0.53	44.32
9	8-12	20	1.050	7.28	0.272	1.94	32.79
10	“	40	0.975	13.97	0.240	0.95	39.06
11	“	60	0.912	20.26	0.171	0.46	44.14
12	“	80	0.748	25.36	0.127	0.31	45.61
Pine tree resin 2 %							
13	2-5	20	1.204	8.34	0.290	4.29	33.73
14	“	40	1.123	11.36	0.225	2.12	36.82
15	“	60	0.868	16.38	0.193	1.31	39.54
16	“	80	0.793	20.62	0.165	0.69	42.45
17	5-8	20	0.985	10.13	0.255	3.15	34.56
18	“	40	0.893	13.88	0.228	1.51	39.75
19	“	60	0.836	19.05	0.149	0.81	43.37
20	“	80	0.726	24.63	0.116	0.51	45.97
21	8-12	20	0.914	12.23	0.225	2.22	36.74
22	“	40	0.876	17.56	0.190	1.05	41.79
23	“	60	0.813	22.45	0.130	0.71	46.22
24	“	80	0.710	28.56	0.105	0.40	49.02

Table 5. Thermal conductivities of different materials [2]

Material	Measured Values			Literature		
	Density (g/cm ³)	T _{avr} (°C)	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (g/cm ³)	T _{avr} (°C)	Thermal Conductivity (W/mK)
Outer Plaster	1.856	31	1.173	1.600	20	0.930
Inner Plaster	1.763	33	1.163	1.800	20	1.163
Gypsum thin plaster (Perlite)	0.465	34	0.244	0.40-0.50	20	0.139-0.162
Gypsum rough plast. (Perlite)	0.465	50.7	0.168	0.40-0.50	20	0.139-0.162
Plaster With Cement (Perlite)	0.672	51.3	0.173	0.700	20	0.244
Gypsum Block (Perlite)	1.047	40	0.372	0.900	20	0.221

Table 6. Physical properties in similar studies

Materials	Experimental values			Literature
	Density (g/cm ³)	Thermal conductivity (W/mK)	Compressive Strength (MPa)	
Gypsum (90%)+fly ash (%10)	1.253	0.335	-	
Gypsum (50%)+fly ash (%50)	1.197	0.274	-	[4]
Gypsum (10%)+fly ash (%90)	1.120	0.248	-	
Cement + sand + fly ash + EPS	1.150	-	3.5	[3]
Cement + sand + fly ash + EPS	1.350	-	12	
EPS (80%)+cement (20%)+tragacanth (1%)	0.536	0.050	0.89	[14]
EPS (20%)+cement (80%)+tragacanth (1%)	1.232	0.320	10.85	
Cement+expanded clay (5%)+tragacanth (1%)	1.183	0.220	2.67	
Cement+expanded clay (10%)+tragacanth (1%)	1.058	0.160	2.35	[5]
Cement+expanded clay (20%)+ tragacanth (1%)	0.867	0.140	1.35	
The pumice aggregate diameter: (8–12) mm				
Pumice (20 %)+cement (80%)+tragacanth (1%)	1.306	0.306	-	
Pumice (40 %)+cement (60%)+tragacanth (1%)	1.172	0.265	-	[21]
Pumice (60 %)+cement (40%)+tragacanth (1%)	0.978	0.226	-	
Pumice (80 %)+cement (20%)+tragacanth (1%)	0.811	0.186	-	
The pumice aggregate diameter: ≤ 20 mm				
Pumice (20 %)+cement (80%)+pine resin (1%)	1.548	0.371	19.80	
Pumice (40 %)+cement (60%)+pine resin (1%)	1.479	0.318	13.05	[2]
Pumice (60 %)+cement (40%)+pine resin (1%)	1.350	0.265	8.10	
Pumice (80 %)+cement (20%)+pine resin (1%)	1.241	0.231	4.58	
Cement + pumice + EPS	0.562	0.330	2.99	[15]
Cement and rubber particle (30%)	1.473	0.625	23.30	
Cement and rubber particle (40%)	1.300	0.513	16.00	[20]
Cement and rubber particle (50%)	1.150	0.470	10.50	
The pumice aggregate dimensions: 8-12 mm				
Pumice (20 %)+gypsum (80%)+pine resin (1%)	0.914	0.225	2.22	
Pumice (40 %)+gypsum (60%)+pine resin (1%)	0.876	0.190	1.05	Present
Pumice (60 %)+gypsum (40%)+pine resin (1%)	0.813	0.130	0.71	
Pumice (80 %)+gypsum (20%)+pine resin (1%)	0.710	0.105	0.40	

Conclusions

This study investigated the effect of pine resin on the thermal and mechanical properties of gypsum plasters with pumice aggregate. The following are the results

✓ 20%-80% pumice added 2-5 mm (Group A), 5-8 mm (Group B), and 8-12 (Group C) had a density reduction of 35.62%, 31.44%, and 28.76%, a thermal conductivity reduction of 39.07%, 52.06%, and 53.30%, and a compressive strength reduction of 80.19%, 78.09%, and 84.02%, respectively.

✓ The resinous plaster groups A, B, and C with pumice aggregate had a density reduction of 1.61%-3.83%, 7.51%-13.97%, and 4.69%-12.95%, respectively. They had a thermal conductivity reduction of 10.76%, 12.06%, and 17.27%, respectively. Their compressive strength increased from 13.11% to 39.28%,

30.16% to 52.83%, and 14.43% to 29.03%, respectively.

✓ All mixtures had a water absorption of greater than 30%, and therefore, they should be used in interior plasters but not in exterior ones.

✓ Pumice- and resin-added gypsum-block materials have insulation characteristics superior to those of similar materials (Table 4). Therefore, they can be used as internal or insulation plasters and decoration materials in buildings.

In conclusion, pumice aggregate and pine resin added gypsum plasters are interior plaster materials with good heat and sound insulation.

References

1. Dermirdag S, Gunduz L. Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units, *Construction and Building Materials*, 2008; 22: 135–142
2. Bicer A., Celik N. Influence of pine tree resin on thermo-mechanical properties of pumice-cement composites, *Cement and Concrete Composites*, 2020; 112: September, 103668
3. Babu D.S., Babu K.G., Wee T.H. Properties of lightweight expanded clay aggregate concretes containing fly ash, *Cement and Concrete Researc.* 2005; 35: 1218-1223
4. Bicer A. Thermal Properties of Gypsum Plaster with Fly Ash, *International Journal of Eastern Anatolia Science Engineering and Design*, 2020; 2(1): 120-1.
5. Devecioglu AG, Bicer Y. The effects of tragacanth addition on the thermal and mechanical properties of light weight concretes mixed with expanded clay, *Period. Polytech. Civil Eng.*, 2016; 60(1): 45-50.
6. Bouvard D., Chaix JM, Dendievel R., Fazekas A., Létang JM., Peix G., Quenard D. Characterization and simulation of microstructure and properties of EC lightweight concrete, *Cement and Concrete Research*, 2007; 37: 1666-1673..
7. Chen B., Liu J. Properties of lightweight Expanded clay concrete reinforced with steel fiber, *Cement and Concrete Research*, 2004; 34: 1259 -1263).
8. Miled K., Sab K., Roy R.L. Particle size effect on EC lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modeling, *Mechanics of Materials*, 2007; 39: 222-240.
9. Xue F., Takeda D., Kimura T., Minabe M. Effect of organic peroxides on the thermal decomposition of Expanded clay with the addition of c-methyl styrene, *Polymer Degradation and Stability*, 2004; 83: 461-466.
10. Gnip I., Vejelis S., Vaitkus S. Thermal conductivity of Expanded clay (EC) at 10 °C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C, *Energy and Buildings*, 2012; 52: 107-111.
11. Kan A.K., Demirboga R. A new technique of processing for waste-Expanded clay foams as aggregates, *Journal of Materials Processing Technology*, 2009; 209: 2994-3000.
12. Bajdur W., Pajaczkoeska J., Makarucha B., Sulkowski A., Sulkowski WW. Effective polyelectrolytes synthesized from expanded clay waste, *European Polymer Journal*, 2002; 38: 299-304.
13. Choi NW., Ohama Y. Development and testing of polystyrene mortars using waste EC solution-based binders, *Construction and Building Materials*, 2004; 18: 235-241.
14. Kaya A, Kar F. Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin. *Construction and Building Materials*, 2016; 105: 572-578
15. Demirel B. Optimization of the composite brick composed of expanded polystyrene and pumice blocks, *Construction and Building Materials*, 2013; 40: 306–313
16. Nabajyoti S., Brito J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review, *Construction and Building Materials*, 2012; 34: 385-401
17. Sulkowski WW., Wolinska A., Szoltysik B., Bajdur WM., Sulkowska A. Preparation and properties of flocculants derived from polystyrene waste, *Polymer Degradation and Stability*, 2005; 90: 272-280.
18. Demirboga R., Kan AK. Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes, *Construction and Building Materials*, 2012; 35: 730-734.
19. Abbes IB., Bayouadh, S., Baklouti, M. Converting Waste polystyrene into adsorbent potential use in the removal of lead and calcium Ions from aqueous solution, *Journal of Polymers and the Environment*, 2006; 14 (3): 249-256.
20. Benazzouk A., Douzane O, Mezreb K., Laidoudi B., Queneudec M, Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles, experimental study and modelling, *Construction and Building Materials*, 2008; 22: 573-579.
21. Akpınar EK., Kocyigit F. Thermal and mechanical properties of lightweight concretes produced with pumice and tragacanth, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2016; 30(5): 534-553.
22. Denko S. Shotherm Operation Manual No: 125-2.K.K, Instrument Products Department, 13-9 Shiba Daimon, Tokyo 105, Japan, 1990
23. ASTM C 109-80. Standards ASTM Designation, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars, 1983.
24. BS 812-109 Standards, Testing aggregates-part 109: methods for determination of moisture content. British Standards Institution, 1990.

Kralkızı barajının olası yıkılması sonrası bir boyutlu taşkın analizi

One-dimensional flood analysis of the Kralkızı dam possible collapse

Ali Em^{1*}, Nizamettin Hamidi¹¹ Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır aliem@dicle.edu.tr¹ Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır nhamidi@dicle.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 1 Mart 2021
Düzeltilme: 4 Nisan 2021
Kabul: 5 Nisan 2021

Anahtar kelimeler:

Kralkızı baraj, baraj yıkılması, HEC
RAS yazılım, global mapper

ÖZET

Barajlar; inovatif ve teknolojik imkânlar göz önünde bulundurularak inşa edilmektedir. Barajların teknik açıdan değerlendirilip yapım aşamaları gerçekleştirilmesine rağmen projelendirme ve uygulama safhalarında hatalarla karşılaşılabilir. Bu sorunlar kullanılan malzemelerin uygun seçilmemesi, projelendirme-uygulamadan kaynaklanan hatalar ve doğal afetler gibi çevre koşullarının yol açtığı hatalar şeklinde ortaya çıkabilmekte, bu nedenlere bağlı olarak barajlarda yıkılmalar görülebilmektedir. Barajlarda hasar ve yıkılmalar sonucu oluşabilecek can ve mal kayıplarını engellemek için kullanılan malzemelerin ve barajların davranışlarının belirlenmesi açısından birtakım deneysel ve simülasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda öngörü olarak erken uyarı sistemi olması açısından yıkılma analizleri ve risk haritaları çıkarılmalıdır. Çalışma kapsamında Dicle Nehri yan kolu olan Maden Çayı üzerinde bulunan Kralkızı Barajı'nın yıkılma üzerine modellenmesi ile bir senaryo çalışması yapılmıştır. Kralkızı Barajı, Diyarbakır eski şehir merkezinden ortalama 100 metre yükseklikte ve Dicle barajıyla birlikte risk oluşturabilecek konumda olan bir barajdır. Söz konusu baraj yapım tekniği açısından dolgu baraj tipinde olmasına rağmen, çalışmada kemer barajlardaki yıkılma modeli olan, ani yıkılma meydana geldiği kabulü ile en elverişsiz durum dikkate alınarak çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmada; "Global Mapper, CBS programı ile ABD Ordusu Mühendislik Birliği tarafından geliştirilen HEC-RAS programı" kullanılarak bir boyutlu üstten aşma yıkılma modellemesi yapılmıştır. Sonuç olarak, kullanılan programlarla yıkılma modellemesi yapılan Kralkızı Barajı'nın yıkılma hidrografi elde edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.889307

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 March 2021
Revised: 26 May 2021
Accepted: 28 May 2021

Keywords:

Kralkızı dam, dam failure, HEC
RAS, global mapper

ABSTRACT

Dams are built by considering innovative and technological possibilities. Although it is evaluated technically and the construction stages are carried out, major defects can be encountered in the project and implementation phases. These problems may appear not only using the inappropriate materials but also corrigenda project design, misimplementation and natural disasters. Due to these reasons, large damages and collapse can be seen in dams. In order to prevent loss of life and property that may occur as a result of damage and collapse in dams, Some experimental and simulation studies are required to determine the behavior of the materials and dams construction. In this context, collapse analyzes and risk maps should be prepared to occur an early warning system as a foresight. Scope of the study, A scenario study has been carried out by modeling the Kralkızı Dam on the Maden Stream, which is a branch of the Tigris River, upon collapse. Kralkızı dam is located at an average altitude of 100 meters from the old city center of Diyarbakir can pose a risk with Tigris Dam. Although Kralkızı dam is of the fill dam type in terms of construction technique, it was accepted that sudden collapse, which is the collapse model in arch dams, and studies were carried out considering the most unfavorable situation. In this study; One-dimensional overrun failure modeling was performed using the "Global Mapper, GIS program and the HEC-RAS program developed by the US Army Engineering Association". As a result, it was obtained the collapse hydrograph of the Kralkızı Dam, using the collapse modeling program.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Ali Em

✉ aliem@dicle.edu.tr

Giriş

Barajlar su kullanımı, enerji üretimi ve taşkından korunmak amacıyla inşa edilen büyük yapılardır. Şehirlere su sağlamak amacı ile şehirlerin üst kodlarında konumlandırılarak cazibeyle suyun yerleşim yerlerine ulaşmasını sağlamaktadır. Güvenli yapılar olmasına rağmen inşaat sırasındaki hatalar veya doğal afetlerden ötürü devamlı risk altındadır [1].

Hatalar ve afetler dışında savaş sebebiyle de baraj yıkılması ile karşılaşmaktadır. 1943'te ikinci dünya savaşı esnasında Almanya'daki Mohne Barajı bombalama sonucu yıkılmış ve 1579 kişi hayatını kaybetmiştir. Genel olarak bütün yıkılma nedenleri dikkate alındığında yıkılma sonrası olan taşkın nedeni ile en fazla can kaybı ise 1975 yılında Çin'in Zhumadian kentinde 171000 insanın ölümüne ekstrem olarak 11 milyon insanın evsiz kalmasına sebep olmuştur [10].

1973 yılında Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'nun [3] barajların %38'i barajların üstünden aşma, %33'ü baraj gövdesinde oluşan borulanma, %23'lük kısmının barajların temel sorunları yıkılma nedeni olduğunu raporunda belirtmiştir.

Tropik iklim kuşaklarındaki ülkelerde hem miktar hem de zarar açısından seller görülmektedir. Türkiye gibi tropikal olmayan iklim ülkeleri de sellerden etkilenmeye başlamıştır [5]. Türkiye'de coğrafi yapı çok karmaşık ve kısa mesafelerde değişiklik gösterdiğinden oluşan taşkınların şekil ve etkileri de bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Doğanın kendine özgü durumu göz önüne alındığında, depremden sonra en büyük felaket olan taşkınların meydana gelme ihtimali oldukça düşüktür. Ancak; nüfus artışı, yanlış imar ve plansız mühendislik uygulamaları sonucunda taşkınlar insanoğlu için her geçen gün daha riskli hale gelmektedir [6].

Taşkınlar, toprak kaymaları, depremler, yetersiz temel, yetersiz projelendirme-inşaat ve zayıf inşaat malzemeleri, farklı oturmalar, hatalı rezervuar işletmesi ve savaşlar barajlar için tehlike oluşturan faktörler olarak sıralanabilir, [4].



Şekil 1. Kralkızı barajı konumu

Şekil 1'de Google earth haritasında elde edilen Kralkızı barajının konumu görülmektedir. Kralkızı Barajı Diyarbakir şehrinin il sınırlarında olup, şehir merkezinden 83 km, Dicle ilçesinden 5,5 km güney batısında Maden çayı üzerinde GAP (Güneydoğu Anadolu Proje) kapsamında inşa edilmiş bir barajdır.

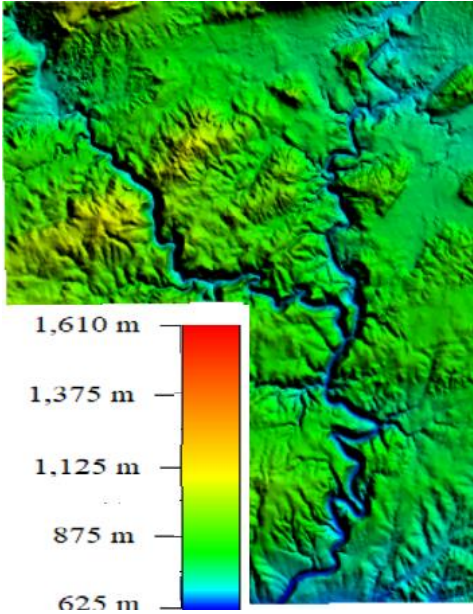


Şekil 2. Kralkızı barajı gövdesi görünümü [8].

Şekil 2.'de kaya gövde dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 15.172.000 m³, akarsu yatağından yüksekliği 126,00 m, normal su kotunda göl hacmi 1919,00 hm³, normal su kotunda göl alanı 57,50 km²'dir. Baraj 'da 90 MW güç ile yıllık 146 KWh'lik elektrik enerjisi üretilmektedir [8].

MATERYAL ve METOD

Baraj inşa edildiği zamanda coğrafi bilgi sistemleri yaygın olmadığı için haritalandırma yersel ölçümler paftalara işlenerek eş yükseklik eğrileri elde edilmiş ve topografik haritalar elde edilmiştir. Elde edilen haritalar proje üzerinde olup bu verileri dijitalleştirilerek coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılabilecek norma getirilmiştir. Şekil 3'te çalışma alanını gösteren dijitalleşmiş harita görülmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Model haritası

Bugünün teknolojileri, uydu verileri ve dronlar ile elde edilen haritalar kadar hassas olması ölçüm ekiplerinin tecrübesine ve şartlara bağlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Veriler paftalardan veriler tif normundan 32 bit floating point veri tipine Global Mapper programıyla çevrilmiştir. Veri ile ilgili detaylar Çizelge 1. de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma alanı veri bilgileri

Description=Terrain.Dicle Gol.Tif
Upper Left X=587351.964
Upper Left Y=4262102.526
Lower Right X=609566.836
Lower Right Y=4219598.824
West Longitude=39° 59' 45.3706" E
North Latitude=38° 29' 15.5343" N
East Longitude=40° 15' 20.6947" E
South Latitude=38° 06' 08.5615" N
Proj_Datum=Wgs84
Proj_Units=Meters
Covered Area=944.21 Sq Km
Pixel Width=5.945 Meters
Pixel Height=5.945 Meters
Min Elevation=620 M
Max Elevation=1610 M
Sample Type=32-Bit Floating Point
Tiff_Desc=Terrain Raster

Modelde Amerikan ordu mühendislerinin Hidrolojik masası tarafından üretilen HECRAS programıyla hidrolik modelleme yapılmıştır. HECRAS programı ile hidrolik modelleme yanında hidrolojik modelleme, su kirliliği, sediment ve hidrolik tasarımlar yapılabilmektedir. HECRAS programında kullanılan altlık dosyaları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Global Mapper programıyla hazırlanmıştır.

Baraj yıkılma hesaplarında ilk olarak baraj haznesindeki suyun ötelenmesiyle başlanılır. Baraj hazne ötelenmesi HECRAS programıyla bir boyutlu olarak üç şekilde yapılmaktadır.

- Bir boyutlu kararsız akım ötelenmesi (Saint Venant denklemleri)
- İki boyutlu kararsız akım ötelenmesi (Saint Venant denklemleri veya Difüzyon dalga denklemi)
- Seviye ötelenmesi

Mevcut veriler eski olup, inşa zamanında coğrafi bilgi sistemleri çok yaygın olmadığı için yersel ölçümlerden elde edilmiş ve dijital olmayan veriler mevcuttur. Bu veriler göz önünde tutulduğunda modelimizde seviye öteleme kullanılmıştır.

Venant, S. (1871) Saint Venan ilkeleri olarak bilinen,

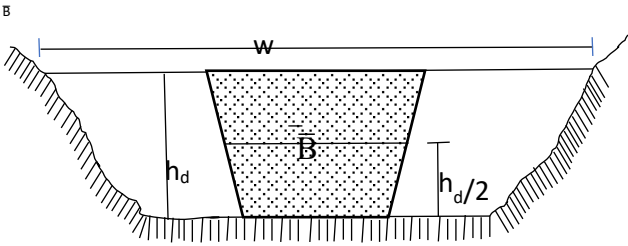
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + q = 0 \quad \text{süreklilik ve}$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + g \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f \right) = 0$$

Momentum denklemlerini çalışmada taşkın ötelemesinde kullanılmıştır.

Taşkın hesaplarında hem kararlı hem de karasız akım kullanılmaktadır. Baraj yıkılmalarında su miktarının fazla olması ve akım değerleri noktadan noktaya değiştiği için karasız akım tercih edilmektedir.

İkinci adım olarak baraj gedik parametrelerinin hesaplanması gelmektedir.



Şekil 4. Baraj gövdesi trapez gedik elemanları

Şekil 4'te W kret genişliği, h_d Gedik yüksekliği, \bar{B} ortalama gedik genişliğini ifade etmektedir.

Modelde barajların yıkılma istatistiğine göre en büyük pay olan %38 i kapsayan üstten aşması sonucu yıkılma senaryosu dikkate alınmıştır. Gedik şekli olarak literatürde üçgen, dikdörtgen ve trapez şekil mevcut olup, yine en fazla kullanılan trapez şeklinde gediklenme hesabı yapılmıştır. Baraj yıkılmalarında gedik lineer ve nonelineer şekilde ilerlemektedir. Bu çalışmada gediklenme lineer olduğu kabul edilmiştir.

Bir akarsuyun taşkın debisinin bilinmesi hidrolojide pek çok sorunun çözülmesi için gerekmektedir. Yapılması düşünülen tesise göre bazen toplam hacim, bazen pik debi bazen her ikisi birden bilinmesi gerekmektedir [7].

Baraj yıkılma modelleri hesaplarında gedik parametreleri hesaplanıp kabuller yapılmalıdır. Yapılan hesaplarda baraj cinsi yüksekliği, gövde hacmi, baraj gölü hacmi gibi bazı kriterleri hesaplayan çok sayıda ifade mevcuttur. Çalışmada en çok kullanılan iki formül ile parametreler hesaplanmıştır. Baraj gedik parametreleri yıkılma zamanı t_f , pik debi Q_p ve gedik ortalama genişliği \bar{B} olmak üzere üç tane modelde aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

USBR [9].

$$t_f = 0,11 (\bar{B}) = 36,63 \text{ saat}$$

$$\bar{B} = 3(hw) = 332,40 \text{ m}$$

$$Q_p = 16,6(hw)^{1,85} = 116,113,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

Froehlich [2],

$$t_f = 0,00254 (V_w)^{0,53} h_b^{-0,9} = 3,21 \text{ saat}$$

$$\bar{B} = 0,1803 K_o V_w^{0,32} h_b^{0,19} = 600 \text{ m}$$

$$Q_p = 0,607 (V_w)^{0,295} h_w^{1,24} = 91,84 \text{ m}^3/\text{s}$$

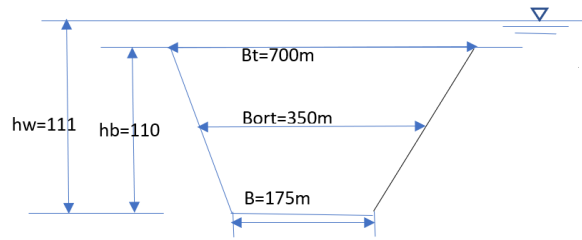
Yıkılma örnekleri dikkate alınarak seçilen

$$t_f = 1 \text{ saat}$$

$$\bar{B} = 350 \text{ m}$$

$$Q_p = 150000$$

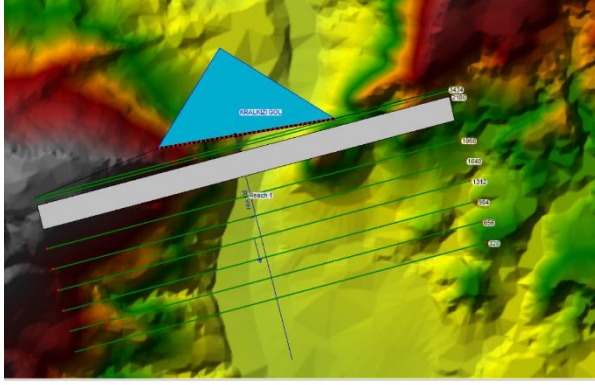
değerler kullanılmıştır.



Şekil 5. Trapez gedik nihai değerleri

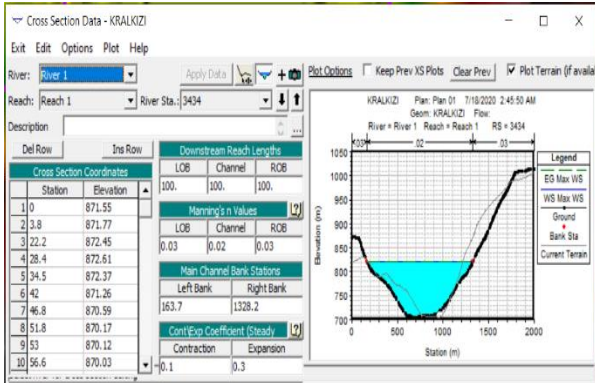
Simülasyon sonunda en son kesitteki hidrograf elde edilmiştir

Kalibrasyon yapılırken baraj yıkılma süresinde, gediklenme tamamen bitirilmeli, baraj gölet hacminin büyük bir çoğunluğunu boşalmış olmalıdır.



Şekil 6. Kralkızı barajı HEC RAS bir boyutlu yıkılma model planı

Şekil 6’da modelimizin planı görülmektedir. Rezervuar ötelemede üçgen şeklinde baraj göleti olup seviye hacim eğrisiyle tanımlanmıştır. Baraj gölüyle mansap kısmı baraj ile inline structure olarak bağlanmıştır. Memba kısmında iki kesit yakın mesafeli olarak yerleştirilirken; bir kesit rezervuarı diğer kesit ise baraj sınır şartlarını ifade etmektedir.



Şekil 7. Bir boyutlu yıkılma modeli enkesiti

Mansap kısmında ise altı kesit iki kilometre genişlik yüz metre arayla yerleştirilmiştir.



Şekil 8. Kralkızı barajı mansap gövde görünüşü

Manning sürtünme katsayısı ise arazide yapılan incelemelerde, baraj mansap kısmında bitki örtüsü olmadığı gibi az pürüzlü bir yüzey

görülmektedir. Şekil 9’da bu hususlar göz önünde bulundurularak sürtünme katsayısı nehir yatağında 0.02 ve bankette 0.03 alınmıştır.

Edit Manning's n or k Values

River: River 1

Reach: Reach 1

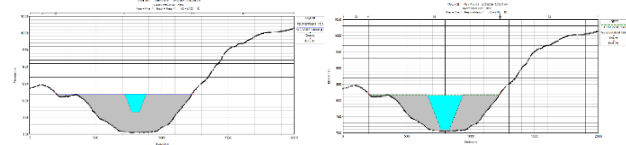
Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 3434	n	0.03	0.02	0.03
2 3388	n	0.03	0.02	0.03
3 2100	Inf Struct			
4 1968	n	0.03	0.02	0.03
5 1640	n	0.03	0.02	0.03
6 1312	n	0.03	0.02	0.03
7 984	n	0.03	0.02	0.03
8 656	n	0.03	0.02	0.03
9 328	n	0.03	0.02	0.03

Şekil 9. Kesitlerde n sürtünme katsayısı tablosu

Nehir yatağında bitki olmadığından $n=0.02$ alınırken, banketlerde otlar ve daha engebeli arazi olduğu için $n=0.03$ alınmıştır. Baraj yıkılması taşkınlarında kısa bir süre sonra su tabakları olduğundan düşük almak sonucu etkilemez.

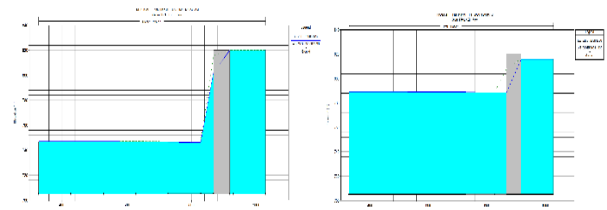


Şekil 10. Otuz ve altmış dakikada gedik şekli

Şekil 10’da kalibrasyon açısından ilk yarım saatte yüzde elli, gedik ilerlemesi ve bir saatte gediklenmenin tamamlandığı görülmüştür.

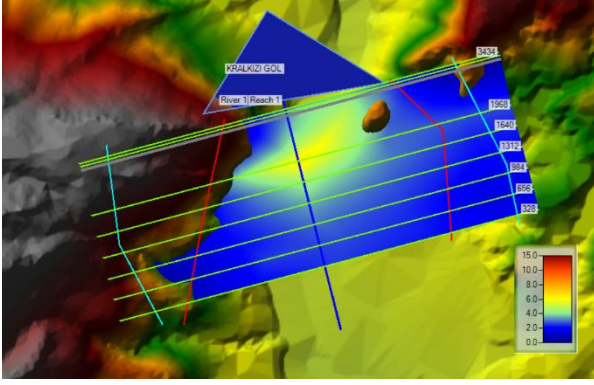
Bulgular ve Tartışma

Şekil 11 barajdaki gediklenme sonucundaki seviye görülmektedir.



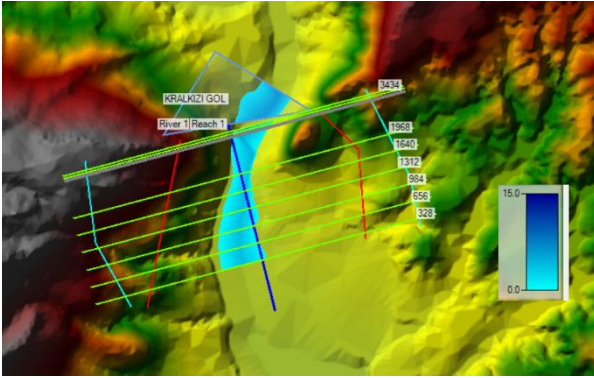
Şekil 11. Nehir ağı boykesit

Dünyada yapılan baraj yıkılmalarının aşırı yağış sonucu dolu savak kapasitesinin yeterli olamaması sonucu dolgu barajlarda kret üstünden aşması sonucu aşınma ve yıkılma meydana gelmektedir.



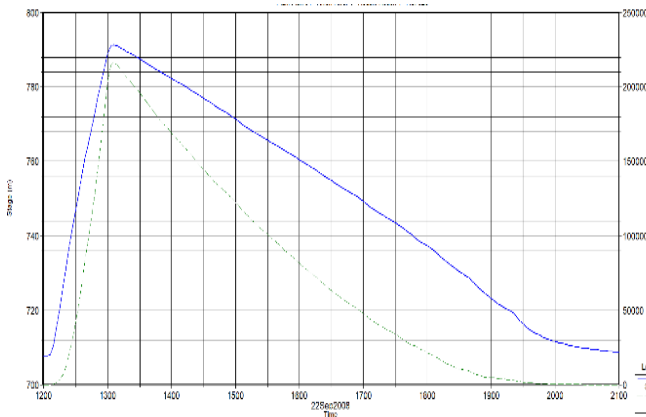
Şekil 12. Maksimum su derinliği

Şekil 12’de maksimum hızlara baktığımızda baraj mansabında hız değerleri yüksek olduğu, genişleyen vadiye yayılan su hızı düşmektedir.



Şekil 13. Dokuz saat sonunda derinlik

Şekil 13’te modelin diğer bir kalibrasyonu, simülasyon süresinin az veya çok olmasının belirlenmesidir. Seçilen dokuz saat sonunda baraj tamamen boşalmış olduğu ve sürenin çok uzamadığı görülmüştür.



Şekil 14. Hidrolik modelin son kesitindeki hidrograf

Şekil 14’te son kesit hidrografta bir saat sonunda max akışa ulaşmış olup sonra inişe geçmiş ve en son olarak baz akıma ulaştığı görülmektedir.

SONUÇ

Kralkızı barajı Diyarbakır içme suyu temini açısından Dicle barajı ile birlikte büyük bir öneme sahiptir. Kralkızı barajı yıkılması sonucu oluşacak taşkında baraj mansabı kısmında vadi boyunca yayılmakta hemen Dicle baraj gölüyle birleşmektedir. Kralkızı mansabın hemen önünde başlayan Dicle baraj gölü sebebiyle iki baraj gölü tek baraj gölü gibi düşünülebilir. Kralkızı barajının normal seviyede göl hacmi 1919 hm³, Dicle barajının 595 hm³ olduğu göz önünde bulundurulursa Kralkızı olası yıkılması Dicle barajını tetikleyeceği öngörülmüştür. Çalışma sonucunda Kralkızı barajının yıkılma analizi yapılması yeterli olmayıp Dicle barajının yıkılma analizlerinin yapılması çok önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür

Bu araştırma makalesi, Mühendislik 16.008 nolu bilimsel araştırma projesi ve Mühendislik 17.007 nolu doktora tezi kapsamındaki proje ile Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü’nce desteklenmiştir. Bu nedenle yazarlar, destek sağlayan Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisine (DÜBAP) teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Em, A., “Kralkızı ve Dicle barajlarının yıkılması sonrası nümerik taşkın modellemesi ve simülasyon”, Doktora tezi, Dicle Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2020.
- [2] Froehlich, David C., 1995b, “Peak Outflow from Breached Embankment Dam”, ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, Volume 121, Issue 1, pages 90 – 97, January 1995.
- [3] ICOLD “Dam- Lessons from Dam Incidents,” Bulletin 111, 1973.
- [4] Kocaman, S., “Baraj yıkılması analizi ve uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 133, 2002.
- [5] Ogras, S., Onen, F., “Flood Analysis with HEC-RAS: A Case Study of Tigris River”, Advances in Civil Engineering, 2020.
- [6] Önen, F., Ogras, S.,” Dicle Nehri'nin taşkın analizinin HEC-RAS programı ile yapılması”, DÜMF Mühendislik Dergisi 10 (3), 1087-1098, 2019.
- [7] Sönmez, O., Öztürk, M., Doğan, E., “İstanbul Derelerinin Taşkın Debilerinin Tahmini”, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 16. Cilt, 2, s. 130-135, 2012.
- [8] Wikipedia, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kralk%C4%B1z%C4%B1_Baraj%C4%B1_ve_Hidroelektrik_Santrali (Erişim zamanı; Temmuz 15.2020)
- [9] USBR, “Guidelines for defining inundated areas downstream from Bureau of Reclamation dams”, Reclamation Planning Instruction, No.82-11;15 June 1982, U.S. Bureau of Reclamation, 1982.
- [10] Zagonjoli, M.,” Dam Break Modelling, Risk Assessment and Uncertainty Analysis for Flood Mitigation”, Delft University of Technology, Institute of Science and Technology , Delft.162, 2007



Assessment of the Acoustic Performance of Historical Structures That Shed Light on Today's Technologies: Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque - Diyarbakır

Derya Çakır Aydın^{1,*}, Filiz Bal Koçyiğit², Neslihan Dalkılıç³

¹Dicle University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Diyarbakır, Turkey, 0000-0002-1376-8444
dcaydin@dicle.edu.tr

²Atılım University, Faculty of Fine Arts Design & Architecture, Department of Architecture, Ankara, Turkey, 0000-0003-4191-0724,
filiz.kocyiigit@atilim.edu.tr

³Dicle University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Diyarbakır, Turkey, 0000-0003-3920-9904,
neslidal@dicle.edu.tr

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 May 2021
Received in revised form 21 May 2021
Accepted 29 May 2021
Available online 22 June 2021

Keywords:

architectural acoustics, historical religious buildings, Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque, objective acoustic parameters

Doi: 10.24012/dumf.949347

* Corresponding author

ABSTRACT

Today's technologies are produced using new construction methods and new materials and using different techniques. While the time dimension of the parametric design, which is defined as the fourth dimension, is sometimes an hour, day or year, sometimes this is seen as a bridge between the past and the present of the structures that have survived in a large date range. For this reason, the support of new building materials and techniques from time to time with methods that have the technical data of the period obtained as a result of our historical heritage and long experience can provide us with new perspectives. The architectural features and construction techniques of historical mosques contain important data on the acoustic performance of religious buildings. Our heritage knowledge must be blended with new knowledge and technologies. Within the scope of the study, the details and systems that were effective in providing acoustic performance parameters in the architecture of Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque, which was the first Ottoman period work of the city located in Diyarbakır Suriçi area, were examined. Among the objective parameters of the sound, Reverberation Time (RT), Early Decay Time (EDT), Clarity (C80), and Definition (D50) metrics were measured. The obtained data were compared with reference values and analyzed. As a result of the data and analysis obtained in the literature reviews, it was determined that the acoustic values of the mosque were in harmony with the reference values. When the measurement data were compared with the obtained international publications, it has been observed that the sound pressure value ranges depending on the frequency of acceptable indoor acoustics standards. The importance of restoration works in harmony with materials such as basalt, brick, limestone, lime mortar and plaster which are the original materials of the building was highlighted in terms of acoustics.

Introduction

Historical buildings can be regarded as an information heritage from the past to the present. While the time dimension of the parametric design, which is defined as the fourth dimension, is sometimes an hour, day or year, sometimes this is seen as a bridge between the past and the present of the structures that have survived in a large date range. For this reason, the support of new building materials and techniques from time to time with methods that have the technical data of the period obtained as a result of our historical heritage and long experience can provide us with new perspectives. The architectural features and construction techniques of historical mosques contain important data on the acoustic performance of religious buildings. Our heritage knowledge must be blended with new knowledge and technologies. Due to these neglected data, only official data were used in restoration stages in studies related to different social

structures until recently, knowledge accumulation and the technical details below were ignored. Similarly, the perception of indoor acoustic characteristics on users has been ignored in historical faith centers. However, mosques, which are one of the important places of the Islamic world, should be evaluated in terms of acoustic comfort in order to ensure the comprehension of Qur'an reading, imam commands, and sermons, and to improve the spiritual feeling of the people of the mawlid and hymns performed with human voice without the use of instruments. Due to the lack of known methods that provide acoustic comfort conditions in many buildings until our time, incorrect restoration works were carried out and the techniques that existed during the period were partially damaged. Instead of original materials, materials that would disrupt the acoustic comfort were used, and the mouths of the acoustic pots, which function as resonators, were covered with plaster.

The primary aim of this study is to draw attention to the acoustic properties of historical buildings and to minimize data loss that would impair acoustic comfort during restoration. In the field study, the acoustic metrics in Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque, which was recently restored and opened to worship, were measured and compared with the reference values given for mosques in the literature [1–7].

Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque

Fatih Pasha Mosque, which was evaluated within the scope of the study, was built in 1516-1520 by Governor Bıyıklı Mehmet Pasha. It was the first Ottoman period artefact in Diyarbakir. The mosque, popularly known as the Kurşunlu Mosque because of its lead-covered domes, is located in the eastern part of the old city surrounded by walls [8], [9]. The mosque was built as a part of a complex. The complex consists of a mosque, two tombs and a Shafi'i section. In the northwest corner, there is a single honorable minaret adjacent to the structure, a tomb, and in the northeast, there is the Tomb of Özdemirolu Osman Pasha, which is independent of the structure. There is hazire¹ in the east and south [8–10] (Fig.1).



Figure 1. Fatih Pasha Mosque

Kurşunlu Mosque and its hazire were registered and protected by the Diyarbakir Regional Council for the Protection of Cultural and Natural Assets in 1991. Mosque, by the General Directorate of Foundations in 1960, repaired in 1975-1976, 1981-1983, and 2008 [11], it suffered a major fire and damage as a result of the events in Suriçi in December 2015. The mosque, which underwent a comprehensive restoration between 2016 and 2019, was reopened for worship in March 2019.

Fatih Pasha Mosque shows the characteristics of classical Ottoman art with its plan, architectural features and materials [10]. The mosque consisted of a square-planned (20.24×20 m.) prayer hall and a seven-unit final congregation along the northern façade. It has an area of approximately 420 m² and a volume of approximately 4520 m³, including the women's mahfil. The prayer hall

part of the mosque has a central plan supported by four half domes. The first standout point when entering through the main door is the cover system built on four square feet. A dome in the middle and four half domes in four directions around it reflect the characteristics of a central structure with four small domes in the corners [8]. A hexagonal pulley carries the central dome. Eight pointed arched windows were opened in the pulley. Half domes sit on half octagonal pulleys. Pulleys end with a row of hedgehog fringes as an early feature [10]. In the northeast and northwest corners of the prayer hall and just behind the narthex, there is a square-planned, domed room (5.2×5 m) (Fig.2).

Basalt was used in the fine part of the last congregation place and in the important parts of the building, and rubble basalt was used in the other parts. In particular, the last congregation place, pulley, and in some parts, smooth cutting basalt were used.

The interior is entered through the arched doorway in the middle of the last congregational place. The dome, which is carried by four square sequins in the middle, has been expanded with half domes in four directions. The spaces in the corners are covered with small domes. Half domes and corner domes are tromp-pass. The most moving part of the structure, whose walls are usually simple, is the mihrab and minbar in the middle of the qibla wall. On the qibla wall, two-storey window arrangement can be seen on both sides of the mihrab. On the east and west walls, the three-storey in the middle and the other at the bottom of the two storeys are seen with flat lento pressed arch foreheads, and at the top with pointed arches, the top with pressed arches are seen.

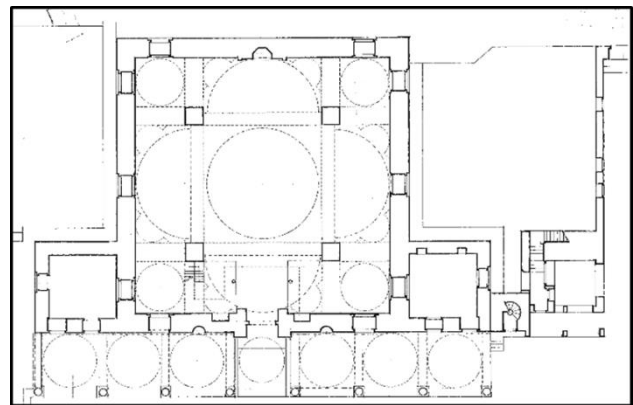


Figure 2. The plan of the Fatih Pasha Mosque [12]

In the north of the mosque, there is a seven-domed last congregation place. In the middle of the last congregational place, there is an iwan-type crown door with pointed arches, which is carried outward. There are colonnades on both sides. There is a rectangular opening window above the door. On the right and left of the crown door, there is a window with flat lento, pointed arch foreheads, and an mihrab made of two-colored stones, a door with a pressed arch, and a two-story window. The

¹ Burial area reserved for special people especially in mosques

lower windows have a pointed arch forehead with a straight linto, and those at the top have a pointed arch opening. The last congregational place is covered with five domes. Above the middle section of the mosque entrance, the dome is animated by triangular prism cabinets between the inner trumpets. There are rich examples of chasing in other dome interiors and passages. These chasing have a vegetative character and are not original. It is not known when the original chasing ornaments were removed. Today's pen-made ornaments were originally made in the 2008 repairs. The last congregational place to open out with pointed arches sitting on eight columns has a moving image with two-colored stonework outside the monochrome white columns [10].

During the restoration application carried out between 2016 and 2019, all the plasters of the mosque, which were damaged by fire and renewed in 2008, were removed and replaced with lime plaster compatible with the original. Only the surface where the original chasing in the dome were found was not removed but was reinforced by cleaning. In this process, almost all the plasters on the inner surface were removed, so the original wall and top covering materials and acoustic pots placed in the domes could be seen.

The mihrab of the mosque is made of finely cut limestone. In the past, it is known that the mihrab is covered with tiles. But today there is no sign of tiles. The minbar and door on the right of the mihrab are marble (Fig.3). A wooden dome with geometric decoration was later added to the throne section of the minbar with the cage carving technique. All the wall surfaces of the structure, which are still plastered today, are basalt rubble stones, while the feet and arch stones are made of smooth basalt cut stones. The main construction material of all domes is brick. It is covered with lime plaster. The original flooring material is basalt. It is then covered with carpet. It has been supported to reduce the interior reverberation time by using carpet covering over basalt stone as flooring. Accessed by a basalt staircase, the women's mahfil is made of wooden flooring and wooden railing carried by wooden posts. The flooring is covered with carpet. The main entrance door of the mosque and the profiles of the windows are also wooden.



Figure 3. The minbar and the mihrab in the qibla wall

In the original state of the mosque, the building and finishing materials, terracotta materials such as brick and pipe, basalt stone, limestone, marble, mortars, plaster and paint layers, glass, wood and carpet were identified. Most of the surfaces in the prayer hall are covered with stucco and carved decorations.

Pots used as acoustic resonators were uncovered in the mosque with plasters removed after the fire. Resonators have become a kind of practice over time, especially in mosques, which are a religious structure. In the 16th century, Sinan also widely used acoustic resonators in its mosques [13]. The simplest type of acoustic resonator is the Helmholtz resonator. This is a volume of air that is connected to the volume of the room with a small opening and neck as soon as it is located in a cavity of a full mass (Fig.4). The sound energy that strikes causes the air in the neck to vibrate. This air tends to hare as a mass, such as a spring, which also includes the air behind the cavity due to compressed volume. This spring-mass system has a resonance frequency and is the maximum energy transfer when they are at the same frequency as the multiplier sound wave. Energy is swallowed by rubbing against the neck and the air particles inside. Some of the energy is transmitted into the cavity inside and continues to spread again until the sound stops. Therefore, resonators can extend reverberant sound energy in-room volume. If the inner surface of the resonator used is not swallowing, it will come out very quickly at frequencies above and below its own resonance frequency. That is, if the resonator is in the swallower feature, it will be effective in a larger bandwidth. The sound energy emitted back into space will also decrease due to the ingestion of energy [14]. Equation (1) [13] displays the formula that can be used to calculate the resonance frequency of the resonators soon as it is selected. The acoustic pot in the dome of the mosque can be seen in Fig. 5.

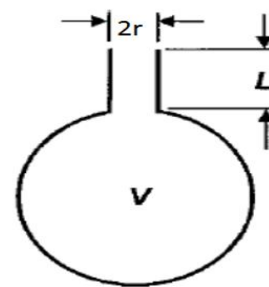


Figure 4. Helmholtz Resonator schematic shape

$$f = \frac{cr}{2\pi} \sqrt{\frac{2\pi}{(2L + \pi r)V}} \quad (1)$$

c : The speed of sound in the air

r : Neck radius

L : Neck length

V : Cavity volume



Figure 5. Acoustic pot in the dome

Methodology for Objective Field Measurements

In the study, fieldwork was carried out to determine the acoustic performance of Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque, a historical mosque. Field measurements in the mosque are in accordance with TS EN ISO 3382-1 standard [1] and the space is empty. B&K 4292-L (Omnipower sound source) was used as the sound source in the measurements. According to the level of background sound, the volume is regulated with the B&K 2734 power amplifier. Metrics were measured with B&K 2270 Sound Level Meter using ODEON-15-Auditorium software. The microphone is controlled with the B&K 4231 sound calibrator before and after measurements. Background noise level, Reverberation Time (RT), Early Decay Time (EDT), Clarity (C80), and Definition (D50) metrics were measured as part of the study.

The background noise level refers to the total sound that other sources in the environment created at the same time when the noise source examined in an environment is silenced [15]. The sounds that make up the background sound can mask the sound source in the space and reduce comprehension. For this reason, it is preferred that the background noise level inside the space and the sound coming from outside at the time of the activities inside the space are not noticeable and does not mask the sound inside the space. The background noise level for mosques should not exceed 34 dBA or noise criterions NC-25 [16].

The most determining parameter affecting the comfort conditions in room acoustics is the reverberation time. The time it takes for a sound pressure level to decrease by 60 dB from the silence of a sound source is called reverberation time (RT). In the middle and high frequencies, low reverberation times are required to ensure the comprehensibility of sermons, while at lower frequencies, longer reverberation times are required to develop the spiritual feeling in the recitation of mawliids and hymns. The higher the reverberation time, the more vivid the sound field in the room, the lower the dryer and deader. Very long reverberation times will negatively affect speech intelligibility, while very short reverberation

times will reduce the sense of adequate feedback and envelopment of the space [17].

According to Su Gul and Caliskan (2013), optimum reverberation time limits for 500 Hz-1000Hz are indicated in Table 1 [2]. According to Karabiber and Erdoğan (2002), the optimum levels for functions performed in mosques are between 1.7 and 2.8 seconds [3]. Bal Koçyiğit (2014) showed the optimum time for 500Hz - 1000Hz as 1.2sn-3.0sn (Fig. 6) [4].

Early Decay Time (EDT) refers to the time until the sound from the source decreases by 10 dB. EDT is important in terms of subjective perception of reverberation time. In music halls, the EDT value is required to be 10% higher than the T30 value and in speaking halls, they may have values close to each other [5].

Table 1. Optimum reverberation time for mosques [2]

Acoustic Parameters	Optimum Limits	Only Noticeable Difference
Reverberation Time (T30 average of 500Hz and 1kHz)	1.8 s-2.2 s	%5 (0.1 s)

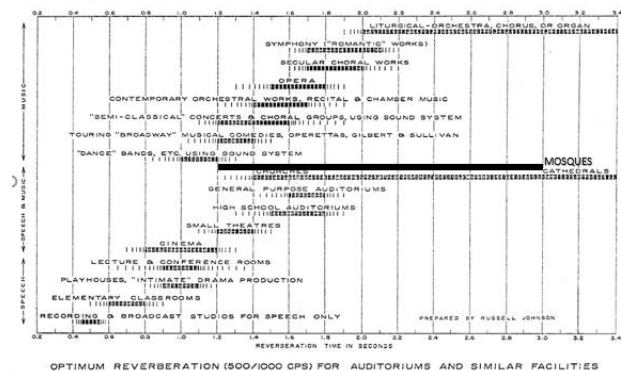


Figure 6. Optimum reverberation time (RT) for different functions [4]

Clarity (C80) is the ratio of the early sound energy coming to the receiver (the direct sound level in the first 80ms) to the late sound energy (the reverberating sound level after 80ms). The early to late energy ratio in dB using sound energy in the first 80 ms as the 'early' part. C80 is most often used as an indicator of coro and religious ritual clarity. These limits are -1 and +3 dB range for coro and religious ritual [6].

Definition-D50 (%) is defined as the ratio of the energy of the first reflections reaching the receiving point within the first 50 ms period to the total sound energy reaching the receiver. Obviously, the 'definition' is a useful descriptor of speech intelligibility. As the D50 increases, the comprehension of speech increases. When the value of the

D50 rises above 50%, the comprehension of speech exceeds 90% [7]. According to TS EN ISO 3382-1, the optimum limit values are between 0.30-0.70 [1].

At the beginning of the work, the background noise level was measured primarily at four points of the mosque (A1, A2, A3, A4). Acoustic parameters were measured at three sound sources and 25 receiver points in order to determine the acoustic performance of the mosque. Three source points (S1, S2, S3) were determined for the measurements. S1 is positioned in front of the mihrab, S2 is in the minbar, and S3 is located in the center of the prayer hall. 25 receiver points are designated to be at least 3 m between them. One of the receiver points is on the women's mahfil and the others on the ground floor (Fig. 7).

The distances between the sources and receivers and their distances from the nearest reflective surface are arranged to be at least 1.5 m. Sound sources are positioned at a height of 1.5 m from the floor. Since the source S1 is determined as the position of the imam to pray to the congregation in front of the mihrab, the receiver points are 1.5 m high from the floor; For the S2 source placed on the minbar, the congregation listened to the Friday sermons by sitting, so receiver points have a height of 0.8 m; For the S3 source placed in the center, the receivers were placed 0.8 m above the floor.

Results

In the measurement study carried out in the prayer hall section of Fatih Pasha (Kurşunlu) Mosque; Background Noise Level, Reverberation Time (RT), Early Decay Time (EDT), Clarity (C80), and Definition (D50) parameters were performed as part of the study. The acoustic performance of the mosque was evaluated by analyzing the obtained data according to reference data.

Construction works are underway around the mosque, which is located in a historical area. Although the noise from construction works outside the building is high, this level decreases within the mosque. When the background noise level of the mosque is evaluated; as stated in Table 2, it is seen that the background noise level does not increase to 34 dBA limit value at all four points measured within the mosque.

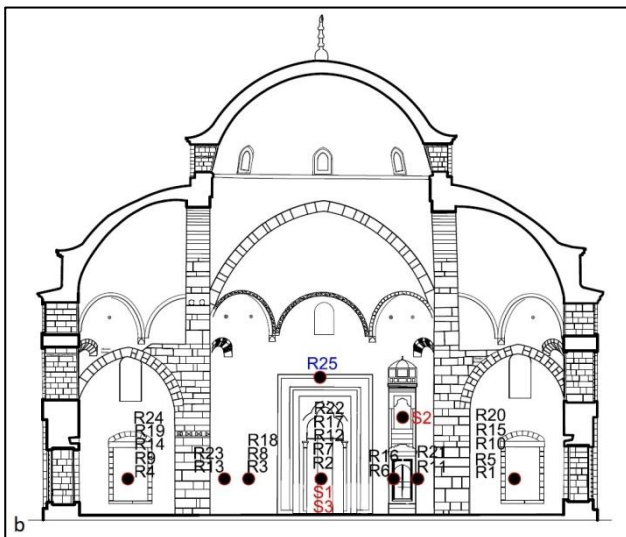
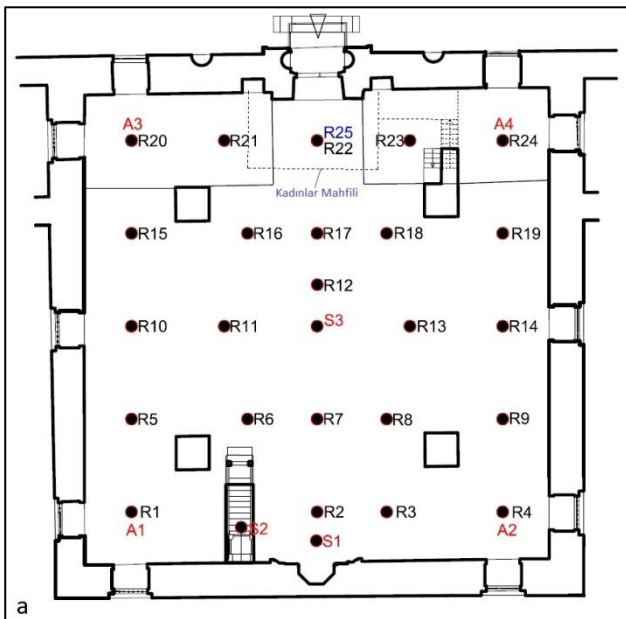


Figure 7. The positions of the Source-Receiver points in a) plan, b) section

Table 2. Measured background noise levels at four measurement points

Background Noise Levels			
A1	A2	A3	A4
32 dBA	31,6 dBA	32 dBA	29 dBA

The Figure 8 and Table 3 show the average RT of 25 receivers with reverberation time between 125-4000 Hz obtained from R1-R25 for the S1 source placed in front of the mihrab, the S2 source placed on the minbar and the S3 source placed in the center has been given. The average reverberation time of 25 receivers for 500Hz-1000Hz at S1, S2, S3 sources ranges from 2.66sn-2.69sn for 500Hz to 2.03sn-2.04sn for 1000Hz. Compared to the optimum value specified by Su Gul and Caliskan (2013) at 1.8sn-2.2sn, it is in 1000Hz reference data and above 500Hz; It is among the reference data according to the optimum level specified by Karabiber and Erdogan (2002) between 1.7 and 2.8 seconds and according to Bal Koçyiğit's range of 1.2-3.00 seconds.

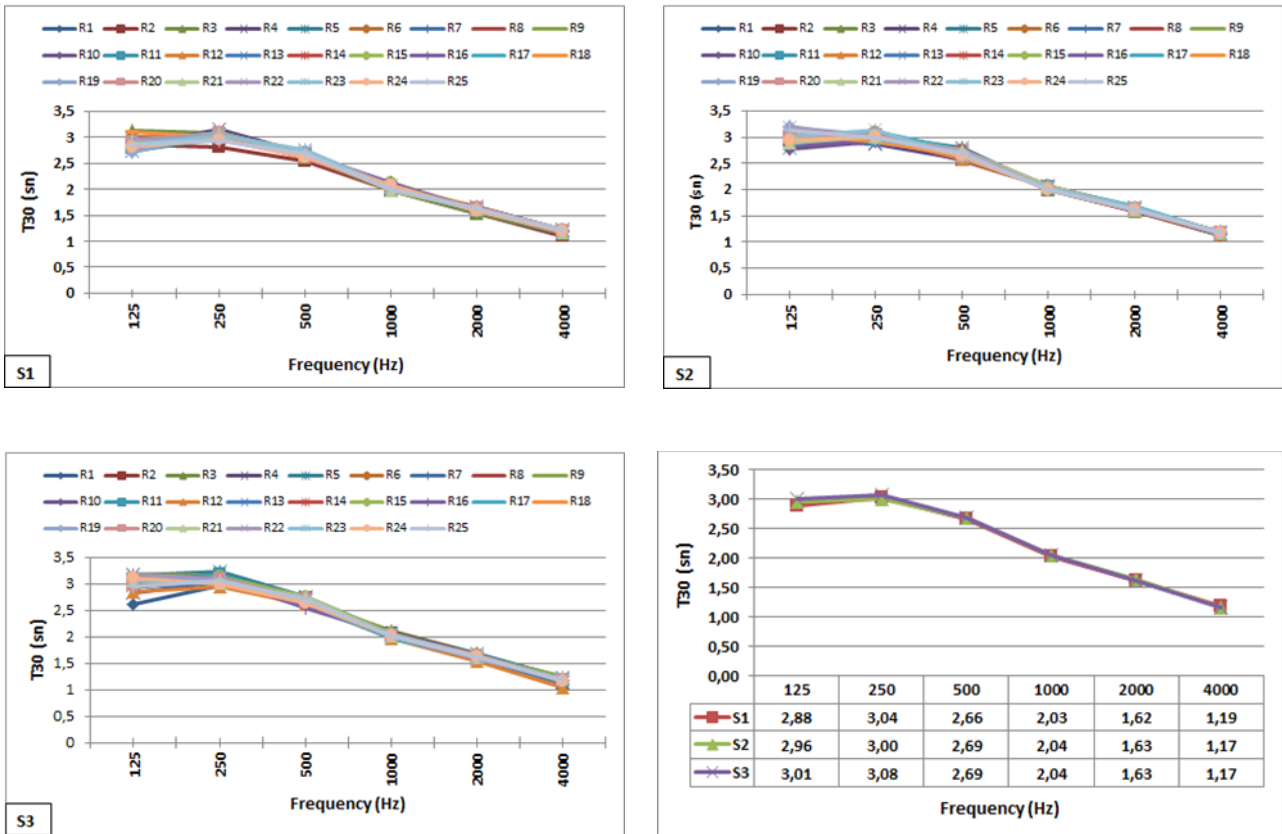
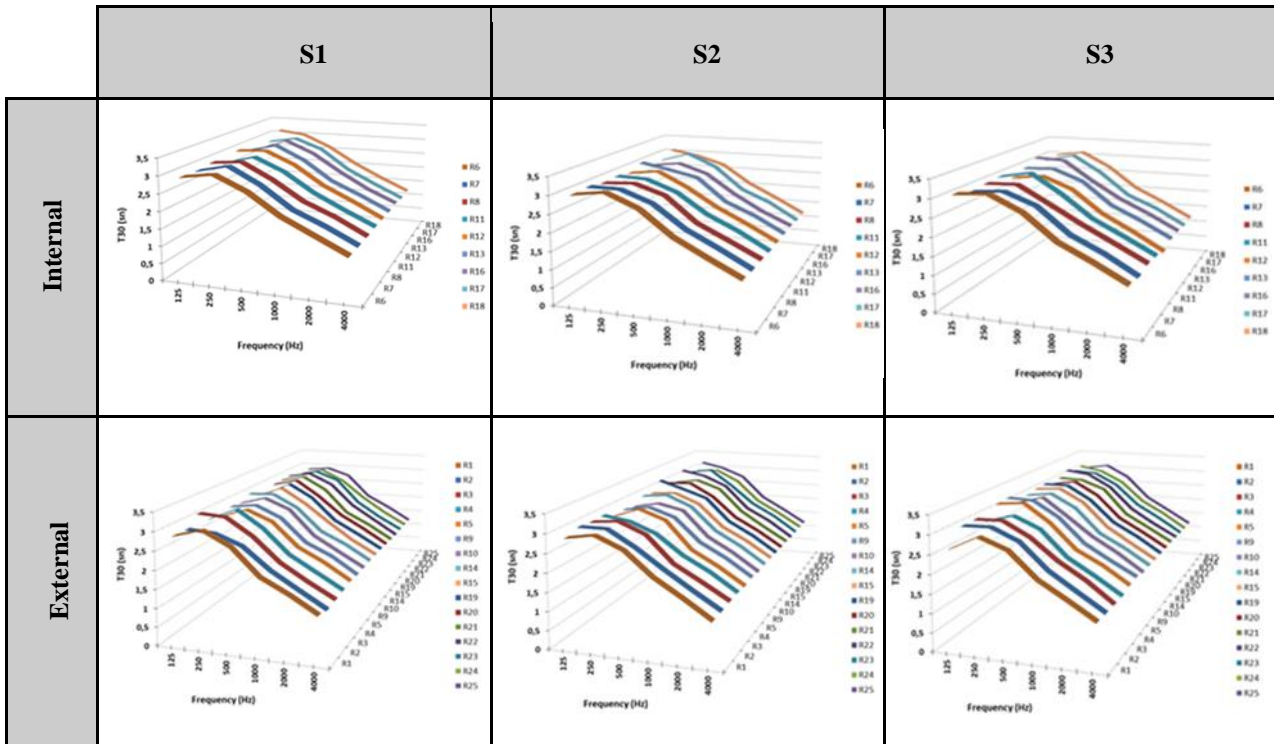


Figure 8. Average RT graphics from 25 receiver points and receivers for S1, S2, S3 sound sources

Table 3. T30 graphics according to placement of 25 receivers



For S1-S2-S3 source points, Fig. 9 shows the average EDT data between 125-4000 Hz obtained from R1-R25 receiver points is given. The average EDT of 25 receivers for 500Hz-1000Hz at S1, S2, S3 source points ranges from 2.50sn-2.64sn for 500Hz to 1.97sn-2.06sn for 1000Hz. These data were found to be among the reference data because the EDT must be $\pm 10\%$ of the T30 value.

In Fig.10 shows the average C80 data between 125-4000 Hz from R1-R25 receiver points for S1-S2-S3 source points is also provided. At the S1, S2, S3 source points, it was determined that the average C80 of 25 receivers was at reference for 1000 Hz compared to the reference values -1 and +3 dB, and slightly below the reference for 500 Hz.

For S1-S2-S3 source points, Figure 11 shows the average D50 data between 125-4000 Hz obtained from R1-R25 receiving points is also given. According to TS EN ISO 3382-1, the D50 values of the mosque are below the optimum limit value in S1 and S2 sources for 250 Hz, all other data are among the reference data.

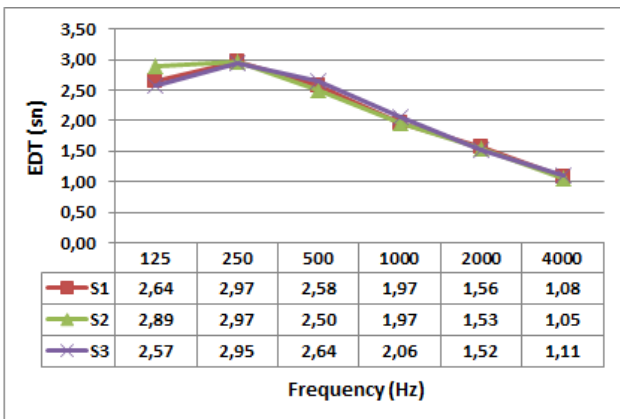


Figure 9. Average EDT for 25 receiver points for S1, S2, S3 sources

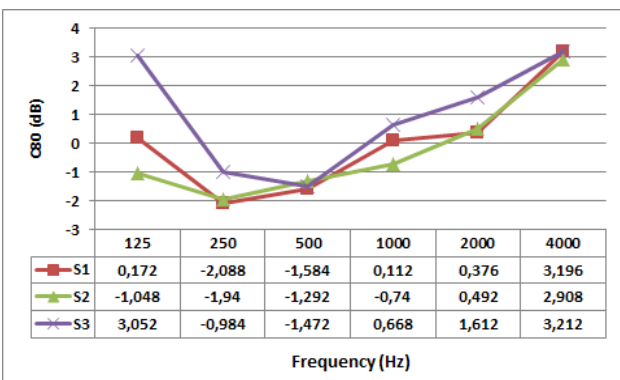


Figure 10. Average C80 for 25 receiver points for S1, S2, S3 sources

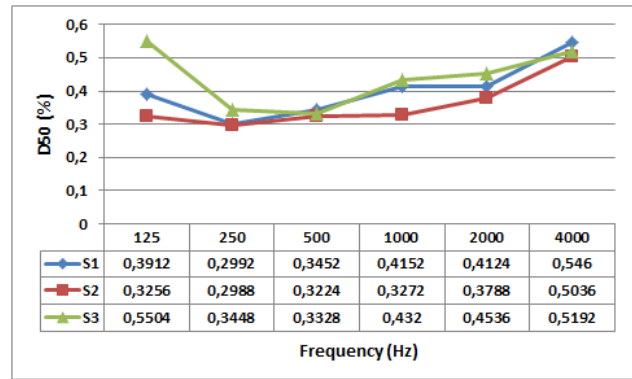


Figure 11. Average D50 for 25 receiver points for S1, S2, S3 sources

Conclusion

Indoor acoustic comfort in mosques is to ensure that the users in the space hear the sound of the imam and the muezzin at the same quality at every point, and to ensure sound quality in terms of the comprehensibility of talking to each other. Since the music in mosques is usually caused by the human voice and narrowband intermittent sounds used in rehabilitative sounds at medium frequencies, it does not require high reverberation time in indoor acoustic control in mosques. Compared to other religious places, this situation supports the control of the reverberation time since the floor is covered with carpet in mosques.

In the measurements made in the study, T30 values, which are high at low frequencies, were obtained at low levels at medium and high frequencies, due to the high differences in sound absorption coefficient values in octave band frequency ranges on carpeted surfaces. The reverberation time (RT) of the mosque is in the acceptable range, especially at 500Hz and 1000Hz. EDT values are among reference values, reference values for 1000 Hz in C80 data, and slightly below the reference value for 500 Hz. D50 is below the optimum limit value in S1 and S2 sources for 250 Hz, all other data are among the reference values.

This study has shown that the architectural features and construction techniques of historical mosques contain important data on the acoustic performance of religious buildings. The fact that the restoration applications were made in harmony with the original materials of the building proved that these data, which provide the acoustic comfort conditions, are preserved. For this reason, it is beneficial to transfer our heritage information to contemporary mosque designs by blending it with new knowledge and technologies.

Acknowledgements

This research was supported by DUBAP (MİMARLIK.19.003), Dicle University, Turkey.

References

- [1] TS EN ISO 3382-1: Acoustics - Measurement of Room Acoustic Parameters. Part 1 : Performance Spaces, 2009.
- [2] M. Caliskan and Z. Sü Gül, "Acoustical design of Turkish Religious Affairs Mosque," *ICA 2013*, 2013, no. 2-7 June.
- [3] Z. Karabiber and S. Erdogan, "Comparison of the Acoustical Properties of an Ancient and a Recent Mosque," *Forum Acusticum*, 2002.
- [4] F. Bal Koçyiğit, "Evaluation of acoustic diversity of religious buildings; a case study from churches and mosques in Turkey," *167th Acoustical Society of America Meeting*, 2014.
- [5] N. N. Çelebi Şeker, "Salonların Mimari Tasarımının Erken Düşme Süresi ve Çınlama Süresi Akustik Parametrelerine Etkisi," *Megaron*, vol. 16, no. 1, pp. 81–91, 2021.
- [6] E. Odabaş, Z. Sü Gül, and M. Çalışkan, "Doğramacızade Ali Pasha Camii'nin Akustik Ölçümlerle Değerlendirilmesi," *9.Ulusal Akustik Kongresi*.
- [7] H. Kuttruff, *Room Acoustics*, 5th ed. Abingdon: Oxon:Spon Press, 2009.
- [8] M. Sözen, *Diyarbakır'da Türk Mimarisi*. İstanbul, pp. 65,68,260, 1971.
- [9] M. B. Tanman, *Fatih Pasha Camii maddesi*, 12th ed. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi, 1995.
- [10] İ. Yıldız, "Kurşunlu Camii Kompleksi Sanat Tarihi Raporu," 2016.
- [11] Z. Boran, A. Erdal, "Diyarbakır'daki Osmanlı Dönemi Cami ve Mescitleri," *Diyarbakır Mimarisi*, İ. Yıldız, Ed. Diyarbakır: Diyarbakır Valiliği Kültür ve Sanat Yayınları, 2011, pp. 257–264.
- [12] Vakıflar Genel Müdürlüğü (VGM) Arşivi, "Vakıflar Genel Müdürlüğü," Diyarbakır, 1978.
- [13] F. Bal Koçyiğit, "Metro İstasyonlarında Mezanin Katında Ses Kaynaklarının Araştırılması ve Çözümlemesi," Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [14] A. Lawrence, *Architectural Acoustics*, no. 1932. Amsterdam-London-New York: Elsevier Publishing Company Limited, 1970.
- [15] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği," Ankara, 2010.
- [16] E. Uysal, "Camilerde Mimari Akustik Tasarım Kriterleri ve Bir Örnek Çalışma: Hasan Tanık Camii," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2015.
- [17] Z. S. Gül, M. Çalışkan, and A. Tavukçuoğlu, "Geçmişten Günümüze Süleymaniye Camii Akustığı," *Megaron*, vol. 9, no. 3, pp. 201–216, 2014.