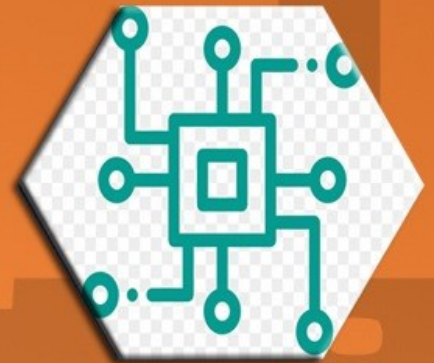




Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi

Bingol University Journal of Technical Science



Cilt 2, Sayı 2, Aralık 2021

Volume 2, Number 2, December 2021

*Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu
tarafından yayımlanmaktadır*

EDİTÖRÜN NOTU

Ülkemizde bilimsel yayıncılık hızla gelişmekte ve bu bağlamda süreli yayınların sayısı önemli ölçüde artmaktadır. Akademik süreli yayıncılık da bu artışın doğal sonuçlarından. 8 Eylül 2020 tarihinde yayınlanan ilk sayısı ile yayın hayatına başlayan dergimizle (**Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi**) çok değerli araştırmacıların, bilim insanlarının ve okurların karşısına çıkmanın heyecanını ve mutluluğunu yaşamaktayız. Yayın hayatına başladığı bu tarihten itibaren bilimsel bir disiplin içerisinde hareket eden dergimiz, uluslararası indekslerde taranmak için azami gayret göstermektedir.

Türkiye’de yayın yapan birçok üniversite akademik dergileri gibi dergimiz de çok-disiplinli ve disiplinlerarası anlayışla hareket etmektedir. Bu anlayışla dergimizin yayın kurulu, bilimin bütün sahalarından ve alt disiplinlerinden bilimsel nitelikli yazıları İngilizce veya Türkçe olarak yayınlamak üzere her iki dilde de kabul etmektedir.

Dergimizde makalelerin kalitesi; yazarlık, editörlük, hakemlik ve baskı süreçlerinin doğru ve etkin bir biçimde yürütülmesi ve karşılıklı etkileşimiyle mümkün olduğu gerçeği göz önünde tutularak bir yayın politikası izlenmektedir. Bu bağlamda dergimiz hakemlik sürecini titizlikle yürütmekte, çift taraflı körleme sistemiyle makaleler değerlendirilmekte, etik ve bilimsel ölçütlere sonuna kadar bağlı kalınmaya çalışılmaktadır.

İlk sayıdan itibaren dergimizin [DergiPark](#) üzerinden erişimi sağlanmış ve yayınlanan makalelerin tamamı okuyucuların ve araştırmacıların hizmetine sunulmuştur. Dergimizin bu sayısında 3 adet bilimsel araştırma ve 2 adet derleme makalesine yer verilmiştir.

Dergimize bilimsel araştırmaları ve yazılarıyla destek veren değerli bilim insanlarına, bu çalışmaları titizlikle değerlendiren hakemlere ve yayın sürecini yöneten ve yürüten yayın kurulu ve sekreteryaya teşekkür ederim.

Dergi Editörü

Doç. Dr. Mehmet Akif AKYOL

(Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Müdürü)

Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi

e-ISSN: 2757-6884

EDİTÖR KURULLARI

Baş Editör

Doç. Dr. Mehmet Akif AKYOL
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Müdürü

Editör Yardımcıları

Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı
ve Deri Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Ünal Değirmenci
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal
Teknolojileri Bölümü

Dergi Sekreterleri

Öğretim Görevlisi Müge YURTCAN
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri
Bölümü

Bölüm Editörleri

Prof. Dr. Ayşegül UÇAR
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Hasan KURTARAN
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. İhsan KIRIK
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Ve Metal
Teknolojileri Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Müslüm EROL
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı
ve Deri Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet POLAT
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

Dr. Burak YILDIRIM
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik Ve Otomasyon
Bölümü

Teknik Editör

Öğretim Görevlisi Ebubekir BOZKURT
Bingöl Üniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal
Teknolojileri Bölümü

İngilizce Editörü

Öğr. Gör. Ahmet KESMEZ
Bingöl Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, İngilizce Bölümü

İLETİŞİM

Başeditör

Doç. Dr. Mehmet Akif AKYOL
E-posta: mehmetakifakyol@bingol.edu.tr
Telefon: 0426 216 00 12-4065

Editör Yardımcısı

Dr. Öğr. Üyesi Ünal Değirmenci
E-posta: udegirmenci@bingol.edu.tr
Telefon: 0426 216 00 12-4040

Dergi Sekreteri:

Öğretim Görevlisi Müge YURTCAN
E-posta: mpektas@bingol.edu.tr
Telefon: 0426 216 00 12-4114

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Submersions of Semi-Invariant Submanifolds of A Kenmotsu Manifold

Oğuzhan Özyol¹, Ramazan Sarı²

1

¹Institute of Science, Amasya University, Turkey.

ORCID No: 0000-0003-3543-4872, e-mail: oguzhanozyol@hotmail.com

²Gümüşhacıköy Hasan Duman Vocational School, Amasya University, Turkey,

ORCID No: 0000-0002-4618-8243, e-mail: ramazan.sari@amasya.edu.tr

(Alınış/Arrival: 26.11.2021, Kabul/Acceptance: 22.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Dıştan Dişli Pompalarda Giriş Basıncının Pompa Performansına Olan Etkisinin Had Analizi ile İncelenmesi

Üsâme Ali Usca^{1*}, Mahir Uzun², Ünal Değirmenci³, Serhat Şap⁴

8

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl/Türkiye.

ORCID No: 0000-0001-5160-5526, e-mail: ausca@bingol.edu.tr

²İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye.

ORCID No: 0000-0002-0907-6875, e-mail: mahir.uzun@inonu.edu.tr

³ Bingöl Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bingöl/Türkiye.

ORCID No: 0000-0003-1480-2488, e-mail: udegirmenci@bingol.edu.tr

⁴ Bingöl Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Bingöl/Türkiye.

ORCID No: 0000-0001-5177-4952, e-mail: ssap@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 24.11.2021, Kabul/Acceptance: 26.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Hedef Konuta Yönelik Kalite Belirleyicileri

Sıddıka Filiz AYDIN GÖK¹

15

Doğuş Üniversitesi STF Mimarlık Bölümü,

ORCID No: 0000-0002-4996-1828, e-mail: sfilizgok@yahoo.com

(Alınış/Arrival: 03.12.2021, Kabul/Acceptance: 26.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Hibrit Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Derleme

Serhat Şap^{1*}, Ünal Değirmenci², Üsâme Ali Usca³, Mahir Uzun⁴

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Bingöl/Türkiye;
ssap@bingol.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5177-4952>

² Bingöl Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bingöl/Türkiye;
udegirmenci@bingol.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1480-2488>

³ Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl/Türkiye;
ausca@bingol.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5160-5526>

⁴ İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye; mahir.uzun@inonu.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0002-0907-6875>

35

(Alınış/Arrival: 23.11.2021, Kabul/Acceptance: 28.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Akıllı Şebekeler: Siber Güvenlik Unsurları ile Veri İletimi

Muhammed Zekeriya GÜNDÜZ^{1*}, Resul DAŞ²

^{1*}Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bingöl, Türkiye.
ORCID: 0000-0003-4278-7123, mzgunduz@bingol.edu.tr

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-6113-4649, rdas@firat.edu.tr

47

(Alınış/Arrival: 16.12.2021, Kabul/Acceptance: 26.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)



Submersions of Semi-Invariant Submanifolds of A Kenmotsu Manifold

Oğuzhan Özyol¹, Ramazan Sarı²

¹Institute of Science, Amasya University, Turkey.

ORCID No: 0000-0003-3543-4872, e-mail: oguzhanozyol@hotmail.com

²Gümüşhacıköy Hasan Duman Vocational School, Amasya University, Turkey,

ORCID No: 0000-0002-4618-8243, e-mail: ramazan.sari@amasya.edu.tr

(Alınış/Arrival: 26.11.2021, Kabul/Acceptance: 22.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Abstract

In this paper, we investigate the submersions of semi-invariant submanifolds of a Kenmotsu manifold onto almost contact manifold. We also obtain the decomposition theorems for such submersions and derive the relation between curvatures.

Keywords: Submersions, semi-invariant submanifolds, Kenmotsu manifold

1. INTRODUCTION

Bishop and O'Neill investigated manifolds with negatif curvature [3]. They studied warped product manifolds as a generalization of Riemannian product manifolds. In 1960's and 1970's, when almost contact manifolds were studied as an odd dimensional counterpart of almost complex manifolds, the warped product was used to make examples of almost contact manifolds. In 1972, Kenmotsu introduced the properties of the warped product of the complex space with the real line [6]. This manifold is called Kenmotsu manifold.

As a generalization of invariant and anti-invariant submanifolds, CR-submanifolds were introduced by Bejancu [1]. Later, this submanifolds are studied by some authours[2,8,12].

One way to compare two manifolds is to define smooth maps from one manifold to another. One of these maps is submersion, the rank of the map is equal to the dimension of the target manifold. An isometric submersion is called a Riemannian submersion. Riemannian submersion between Riemannian submanifolds was first introduced by O' Neill [9].

In 1981, Kobayashi [7] investigated submersion of CR-submanifold of a Kaehler manifold onto almost Hermitian manifold. After, Deshmekh et al. studied properties curvature of this submersions [4]. In 1989, Papaghuic [10] studied the submersion of semi-invariant submanifolds of a Sasakian manifold. Submersion of semi-invariant submanifolds of trans-Sasakian manifold were studied by Jamali et al [11]. Moreover, there are many papers about these subject in literature [5,13,14].

In this paper, we study submersions of semi-invariant submanifold of Kenmotsu manifold onto almost contact manifold. We have been shown that in submersion of a semi-invariant submanifold of a Kenmotsu manifold onto an almost contact metric manifold, an almost contact metric manifold is a Kenmotsu manifold. Moreover, we investigated decomposition theorems and curvature relation.

2. PRELIMINARIES

Let M be a $(2n+1)$ -dimensional differentiable manifold endowed with a (φ, ξ, η, g) , where φ is $(1,1)$ -tensor field, ξ is a vector field, η is a 1-form, and g is a Riemannian metric such that

$$\varphi^2 X = X - \eta(X)\xi, \quad \eta(\xi) = 1 \quad (1)$$

$$g(\varphi X, \varphi Y) = g(X, Y) - \eta(X)\eta(Y) \quad (2)$$

for all $X, Y \in \Gamma(TM)$.

The contact metric manifold M is called a Kenmotsu manifold if it satisfies the condition

$$(\bar{\nabla}_X \varphi)Y = g(\varphi X, Y)\xi - \eta(Y)\varphi X \quad (3)$$

for all $X, Y \in \Gamma(TM)$ where $\bar{\nabla}$ is Levi-Civita connection on M .

Let M be an n -dimensional isometrically immersed submanifold of Kenmotsu manifold \bar{M} and tangent to ξ and suppose $\bar{\nabla}$ (resp. ∇) be the covariant differentiation with respect to the Levi-Civita connection on \bar{M} (resp. M). The Gauss and Weingarten formulae for M are respectively given by

$$\bar{\nabla}_X Y = \nabla_X Y + h(X, Y) \quad (4)$$

And

$$\bar{\nabla}_X N = -A_N X + \nabla_X^\perp N \quad (5)$$

for $X, Y \in \Gamma(TM)$, $N \in \Gamma(T^\perp M)$, where h (resp. A) is the second fundamental form (resp. tensor) of M in \bar{M} and ∇^\perp denotes the operator of the normal connection. Moreover we have

$$g(h(X, Y), N) = g(A_N X, Y). \quad (6)$$

The curvature tensor R of the submanifold M is related to the curvature tensor \bar{R} of \bar{M} by the following Gauss formula

$$\bar{R}(X, Y, Z, W) = R(X, Y, Z, W) - g(h(Y, Z), h(X, W)) + g(h(X, Z), h(Y, W)) \quad (7)$$

Definition 2.1. An m -dimensional Riemannian submanifold M of a Kenmotsu manifold \bar{M} is called a semi-invariant submanifold if ξ is tangent to M and it is endowed with a pair of orthogonal differentiable distributions (D, D^\perp) which satisfies

$$(i) \quad TM = D \oplus D^\perp \oplus \{\xi\}$$

(ii) The distribution $D_X: x \rightarrow D \subset T_x M$ is invariant under ϕ i.e. $\phi D_X \subset D_X$ for each $x \in M$

(iii) The orthogonal complementary distribution $D^\perp: x \rightarrow D^\perp \subset T_x M$ of the distribution D on M is totally real i.e. $\phi D^\perp \subset T_x^\perp M$ where $T_x M$, $T_x^\perp M$ are tangent space and the normal space of M at x respectively.

The projection of TM to D and D^\perp are denoted by h and v respectively i.e., for any $X \in TM$ we have

$$X = hX + vX + \eta(X)\xi \quad (8)$$

The normal bundle to M has the decomposition

$$T^\perp M = \phi D^\perp \oplus \mu.$$

For any $U \in T^\perp M$, we put

$$U = pU + qU \quad (9)$$

where $pU \in \phi D^\perp$, $qU \in \mu$. Making use of the above equation, we may write

$$\phi U = \phi pU + \phi qU, \quad U \in \Gamma(T^\perp M), \quad \phi pU \in \Gamma(D^\perp), \quad \phi qU \in \Gamma(\mu).$$

On the otherhand, let $\pi: (M^n, g_M) \rightarrow (B^b, g_B)$ be a submersion between two Riemannian manifolds. Then π said to be Riemannian submersion if

- i) π has maximal rank
- ii) The diferential π_* preserves the lengths of horizontal vector.

On the other hand, $\pi^{-1}(k)$ is an $(n - b)$ -dimensional submanifold of M , for each $k \in M$. The submanifolds $\pi^{-1}(k)$ are called fibers. Moreover, vector fields tangent to fibers are called vertical and vector fields orthogonal to fibers are horizontal. A vector field X on M is called basic if X is horizontal and $\pi_*X_p = X'_{\pi_*(q)}$ for all $q \in M$. We determine that V and H define projections $ker\pi_*$ and $(ker\pi_*)^\perp$, respectively.

Lemma 2.1. Let X, Y be basic vector fields on M . Then

- (i) $g(X, Y) = g'(X_*, Y_*) \circ \pi$,
- (ii) The component $h([X, Y]) + \eta([X, Y])\xi$ of $[X, Y]$ is a basic vector field and corresponds to $[X_*, Y_*]$, i.e., $\pi_*(h([X, Y]) + \eta([X, Y])\xi) = [X_*, Y_*]$,
- (iii) $[U, X] \in D^\perp$ for any $U \in D^\perp$,
- (iv) $h(\nabla_X Y) + \eta(\nabla_X Y)\xi$ is a basic vector field corresponding to $\nabla_X^* Y_*$, where ∇^* denotes the Levi-Civita connection on M' .

For basic vector fields on M , we define the operator $\widetilde{\nabla}^*$ corresponding to ∇^* by setting

$\widetilde{\nabla}_X^* Y = h(\nabla_X Y) + \eta(\nabla_X Y)\xi$ for $X, Y \in (D \oplus \{\xi\})$. By (iv) of lemma 2.1., $\widetilde{\nabla}_X^* Y$ is a basic vector field and we have

$$\pi_*(\widetilde{\nabla}_X^* Y) = \nabla_{X_*}^* Y_* . \quad (10)$$

Define the tensor field C by

$$\nabla_X Y = \widetilde{\nabla}_X^* Y + C(X, Y), \quad X, Y \in \Gamma(D \oplus \{\xi\}), \quad (11)$$

where $C(X, Y)$ is the vertical part of $\nabla_X Y$. It is known that C is skew-symmetric and satisfies

$$C(X, Y) = \frac{1}{2}v[X, Y], \quad X, Y \in \Gamma(D \oplus \{\xi\}).$$

The curvature tensors R, R^* of the connection ∇, ∇^* on M and M' respectively related by

$$\begin{aligned} R(X, Y, Z, W) = R^*(X_*, Y_*, Z_*, W_*) - g(C(Y, Z), C(X, W)) \\ + g(C(X, Z), C(Y, W)) + 2g(C(X, Y), C(Z, W)) \end{aligned} \quad (12)$$

where $X, Y, Z, W \in \Gamma(D \oplus \{\xi\})$, $\pi_*X = X_*$, $\pi_*Y = Y_*$, $\pi_*Z = Z_*$ and $\pi_*W = W_* \in \chi(M')$.

3. SUBMERSIONS OF SEMI INVARIANT SUBMANIFOLDS OF A KENMOTSU MANIFOLD

Definition 3.1. Let M be a semi-invariant submanifold of a Kenmotsu manifold \overline{M} and M' be an almost contact metric manifold with the almost contact metric structure (ϕ', ξ', η', g') . Assume that there is a submersion $\pi : M \rightarrow M'$ such that

- (i) $D^\perp = ker\pi_*$, where $\pi_* : TM \rightarrow TB$ is the tangent mapping to π ,
- (ii) $\pi_* : D_p \oplus \{\xi\} \rightarrow T_{\pi(p)}B$ is an isometry for each $p \in M$ which satisfies $\pi_* \circ \phi = \phi' \circ \pi_*$; $\eta = \eta' \circ \pi_*$; $\pi_*(\xi_p) = \xi'_{\pi(p)}$, where $T_{\pi(p)}B$ denotes the tangent space of B at $\pi(p)$.

Proposition 3.2. Let $\pi: (M, g_M) \rightarrow (B, g_B)$ be a submersion of semi-invariant submanifold of a Kenmotsu manifold \bar{M} onto an almost contact metric manifold B . Then we have

$$(\tilde{\nabla}_X^* \phi)Y = g(\phi X, Y)\xi - \eta(Y)\phi X, \quad (13)$$

$$C(X, \phi Y) = \phi ph(X, Y), \quad (14)$$

$$\phi C(X, Y) = ph(X, \phi Y), \quad (15)$$

$$\phi qh(X, Y) = qh(X, \phi Y) \quad (16)$$

for any $X, Y \in \Gamma(TM)$.

Proof. For any $X, Y \in \Gamma(TM)$ and by using Gauss formula (4), decomposition equation (9) and (11) we have

$$\bar{\nabla}_X Y = \tilde{\nabla}_X^* Y + C(X, Y) + ph(X, Y) + qh(X, Y). \quad (17)$$

Hence, we get

$$\phi \bar{\nabla}_X Y = \phi \tilde{\nabla}_X^* Y + \phi C(X, Y) + \phi ph(X, Y) + \phi qh(X, Y). \quad (18)$$

Putting $Y = \phi Y$ in (17), it follows

$$\bar{\nabla}_X \phi Y = \phi \tilde{\nabla}_X^* \phi Y + C(X, \phi Y) + ph(X, \phi Y) + qh(X, \phi Y). \quad (19)$$

On the other hand, using the definition of Kenmotsu manifold we find

$$(\bar{\nabla}_X \phi)Y = \bar{\nabla}_X \phi Y - \phi \bar{\nabla}_X Y = g(\phi X, Y)\xi - \eta(Y)\phi X. \quad (20)$$

Substituting (18) and (19) in (20) we get

$$\begin{aligned} \tilde{\nabla}_X^* \phi Y + C(X, \phi Y) + ph(X, \phi Y) + qh(X, \phi Y) - \phi \tilde{\nabla}_X^* Y - \phi C(X, Y) \\ - \phi ph(X, Y) - \phi qh(X, Y) = g(\phi X, Y)\xi - \eta(Y)\phi X. \end{aligned}$$

Comparing components of $(D \oplus \{\xi\})$, D^\perp , ϕD^\perp and q respectively on both sides in the above equation, we get the required results.

Theorem 3.3. Let $\pi: (M, g_M) \rightarrow (B, g_B)$ be a submersion of semi-invariant submanifold of a Kenmotsu manifold \bar{M} onto an almost contact metric manifold B . Then B is also a Kenmotsu manifold.

Proof. For any $X, Y \in \Gamma(TM)$, using (13), we get

$$(\tilde{\nabla}_X^* \phi)Y = g_M(\phi X, Y)\xi - \eta(Y)\phi X.$$

Applying π_* to the above equation and using Lemma 2.1., (10) and definition of submersion, we derive

$$(\tilde{\nabla}_{X_*}^* \phi')Y_* = g_B(\phi'X_*, Y_*)\xi' - \eta'(Y_*)\phi'X_*$$

The above equation shows that B is a Kenmotsu manifold.

Proposition 3.4. Let $\pi: (M, g_M) \rightarrow (B, g_B)$ be a submersion of semi-invariant submanifold of a Kenmotsu manifold \bar{M} onto an almost contact metric manifold B . Then

- (i) $ph(\phi X, \phi Y) + ph(\phi X, Y) = 0$,
- (ii) $ph(\phi X, \phi Y) = ph(X, Y)$,
- (iii) $qh(\phi X, \phi Y) = -qh(X, Y)$,

(iv) $C(\phi X, \phi Y) = C(X, Y)$
for any $X, Y \in (D \oplus \{\xi\})$.
Proof.

(i) Interchanging X and Y in (15) we have

$$\phi C(Y, X) = ph(Y, \phi X) = ph(\phi X, Y).$$

Then, we get

$$ph(X, \phi Y) + ph(\phi X, Y) = \phi C(X, Y) + \phi C(Y, X) = \phi C(X, Y) - \phi C(X, Y) = 0.$$

(ii) Putting $X = \phi X$ in (15), we get

$$ph(\phi X, \phi Y) = \phi C(\phi X, Y) = -\phi C(Y, \phi X).$$

Using (14) in the above equation, we have

$$ph(\phi X, \phi Y) = -\phi C(Y, \phi X) = -\phi(\phi ph(Y, X)).$$

Then, from (1) we conclude

$$ph(\phi X, \phi Y) = ph(Y, X) - \eta(h(X, Y))\xi = ph(Y, X).$$

(iii) Putting $X = \phi X$ in (16) and using again the same equation, we have

$$qh(\phi X, \phi Y) = \phi qh(\phi X, Y) = \phi qh(Y, \phi X) = \phi^2 qh(Y, X) = -qh(X, Y).$$

(iv) Putting $X = \phi X$ in (14) and then using (15) yields

$$C(\phi X, \phi Y) = \phi ph(\phi X, Y) = \phi ph(Y, \phi X) = \phi^2 C(Y, X).$$

Then from (1) we have

$$C(\phi X, \phi Y) = C(Y, X).$$

4. CURVATURE RELATIONS

Proposition 4.1. Let $\pi: (M, g_M) \rightarrow (B, g_B)$ be a submersion of semi-invariant submanifold of a Kenmotsu manifold \bar{M} onto an almost contact metric manifold B . Then the ϕ -bisectional curvature of \bar{M} and B are related by

$$\begin{aligned} \bar{B}(X, Y) &= B'(X_*, Y_*) - 2 \|ph(X, Y)\|^2 - 2 \|ph(X, \phi Y)\|^2 - 2g(ph(X, X), ph(Y, Y)) \\ &+ 2 \|qh(X, Y)\|^2, \end{aligned}$$

where $X, Y \in (D \oplus \{\xi\})$.

Proof. We know

$$\bar{B}(X, Y) = \bar{R}(X, \phi X, \phi Y, Y).$$

Put $Y = \phi X, Z = \phi Y, W = Y$ in equation (7) we get

$$\bar{R}(X, \phi X, \phi Y, Y) = R(X, \phi X, \phi Y, Y) - g(h(X, Y), h(\phi X, \phi Y)) + g(h(X, \phi Y), h(\phi X, Y))$$

Substituting $h = ph + qh$, in the above equation, we arrive at

$$\begin{aligned}\bar{R}(X, \phi X, \phi Y, Y) &= R(X, \phi X, \phi Y, Y) - g(qh(X, Y), qh(X, Y)) + g(ph(X, Y), ph(X, Y)) \\ &\quad - g(qh(X, \phi Y), qh(X, \phi Y)) + g(\phi ph(X, Y), \phi ph(X, Y))\end{aligned}$$

Then we have

$$\bar{R}(X, \phi X, \phi Y, Y) = R(X, \phi X, \phi Y, Y) - \|ph(X, Y)\|^2 + 2\|qh(X, Y)\|^2 - \|ph(X, \phi Y)\|^2 \quad (21)$$

Now by putting $Y = \phi X, Z = \phi Y, W = Y$ in (12) it follows

$$\begin{aligned}R(X, \phi X, \phi Y, Y) &= R^*(X_*, \phi' X_*, \phi' Y_*, Y_*) - g(C(\phi X, \phi Y), C(X, Y)) \\ &\quad - g(C(X, \phi Y), C(Y, \phi X)) - 2g(C(X, \phi X), C(Y, \phi Y)).\end{aligned} \quad (22)$$

Applying ϕ to equation $\phi C(X, Y) = ph(X, \phi Y)$, we get $\phi^2 C(X, Y) = \phi ph(X, \phi Y)$. This gives $-C(X, Y) + \eta(C(X, Y))\xi = \phi ph(X, \phi Y)$

or

$$C(X, Y) = -\phi ph(X, \phi Y).$$

Using the above relation in (22), we conclude

$$\begin{aligned}R(X, \phi X, \phi Y, Y) &= R^*(X_*, \phi' X_*, \phi' Y_*, Y_*) - \|ph(X, Y)\|^2 - \|ph(X, \phi Y)\|^2 \\ &\quad - 2g(ph(X, X), ph(Y, Y)).\end{aligned}$$

Put this value of $R(X, \phi X, \phi Y, Y)$ in (21) we obtain

$$\begin{aligned}\bar{R}(X, \phi X, \phi Y, Y) &= R^*(X_*, \phi' X_*, \phi' Y_*, Y_*) - \|ph(X, Y)\|^2 - \|ph(X, \phi Y)\|^2 \\ &\quad - 2g(ph(X, X), ph(Y, Y)) - \|ph(X, Y)\|^2 + 2\|qh(X, Y)\|^2 - \|ph(X, \phi Y)\|^2,\end{aligned}$$

which implies that

$$\begin{aligned}\bar{B}(X, Y) &= B'(X_*, Y_*) - 2\|ph(X, Y)\|^2 - 2\|ph(X, \phi Y)\|^2 - 2g(ph(X, X), ph(Y, Y)) \\ &\quad + 2\|qh(X, Y)\|^2.\end{aligned}$$

Corollary 4.2. Let $\pi: M \rightarrow M'$ be a submersion of semi-invariant submanifold of a Kenmotsu manifold \bar{M} onto an almost contact metric manifold. Then the ϕ -sectional curvature of \bar{M} and M' are related by

$$\bar{H}(X) = H'(X_*) - 4\|ph(X, X)\|^2 + 2\|qh(X, X)\|^2,$$

where $X \in (D \oplus \{\xi\})$.

Proof. Putting $X = Y$ in the above expression of $\bar{B}(X, Y)$, we have

$$\begin{aligned}\bar{B}(X, X) = \bar{H}(X) &= H'(X_*) - 2\|ph(X, X)\|^2 - 2\|ph(X, \phi X)\|^2 - 2g(ph(X, X), ph(X, X)) \\ &\quad + 2\|qh(X, X)\|^2.\end{aligned}$$

Then we conclude

$$\bar{B}(X, X) = H'(X_*) - 4\|ph(X, X)\|^2 - 2\|ph(X, \phi X)\|^2 + 2\|qh(X, X)\|^2.$$

Putting $Y = X$ in equation (15) we have

$$ph(X, \phi X) = \phi C(X, X) = 0.$$

Thus we get

$$\bar{H}(X) = H'(X_*) - 4\|ph(X, X)\|^2 + 2\|qh(X, X)\|^2.$$

5. REFERENCES

- [1] Bejansu A. CR submanifolds of Kaehler manifold. I, Proc. Amer. Math. Soc. 1978; 69(1):135-142.
- [2] Bejansu A, Papaghuic N. CR-submanifolds of Kenmotsu manifold, Rend. Math. 1984; 7(4): 607-622
- [3] Bishop RL, O'Neill B. Manifolds of negative curvature, Trans. Amer. Math. Soc., 1969;145:1-50.
- [4] Deshmukh S, Ali S, Husain SI. Submersions of CR-submanifolds of a Kaehler manifold, Indian J. Pure Appl. Math. 1988;19(12):1185–1205.
- [5] Jamali M, Shahid MH. Submersion of CR-submanifolds of nearly Trans-Sasakian manifolds, Thai J. Math. 2012;10:157-165.
- [6] Kenmotsu K. “A class of almost contact Riemannian manifolds”, Tohoku Math. Journ. 1972;24: 93-103.
- [7] Kobayashi S. Submersions of CR submanifolds. Tohoku Math. J.,1987; 39(1):95-100.
- [8] Matsumoto K, Shahid MH, Mihai I. Semi-invariant submanifolds of certain almost contact manifolds. Bull. Yamagata Univ. Natur. Sci. 13., 1994;3:183-192.
- [9] O'Neill B. The fundamental equations of a submersion. Michigan Math. J. 1966;13:459-469.
- [10] Papaghiuc N. Submersions of semi-invariant submanifolds of a Sasakian manifold. An. Ştiint. Univ. Al. I. Cuza Iaşi Sect. I a Mat. 1989;35(3):281-288.
- [11] Shahid MH, Al-Solamy FR, Jun J, Ahmad M. Submersion of Semi-invariant Submanifolds of Trans-Sasakian Manifold. Bull. Malaysian Math. Sci. Soc. 2013;36(1):63-71.
- [12] Sinha BB, Srivastava AK. “Semi-invariant submanifolds of a Kenmotsu manifold with constant Φ -holomorphic sectional curvature”. Indian J. Pure Appl. Math. 1992;23(11): 783-789.
- [13] Srivastava V, Pandey PN. Submersion of semi-invariant submanifolds of contact manifolds. Global J. Pure and App. Math. 2017;13(9):5213-5224.
- [14] Srivastava V, Pandey PN. Submersion of semi-invariant submanifolds of lorentzian para-Sasakian manifolds. Int. J. Pure and App. Math. 2018;120(1):77-85.



Dıştan Dişli Pompalarda Giriş Basıncının Pompa Performansına Olan Etkisinin Had Analizi ile İncelenmesi

Üsame Ali Usca^{1*}, Mahir Uzun², Ünal Değirmenci³, Serhat Şap⁴

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl/Türkiye.
ORCID No: 0000-0001-5160-5526, e-mail: ausca@bingol.edu.tr

²İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye.
ORCID No: 0000-0002-0907-6875, e-mail: mahir.uzun@inonu.edu.tr

³ Bingöl Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bingöl/Türkiye.
ORCID No: 0000-0003-1480-2488, e-mail: udegirmenci@bingol.edu.tr

⁴ Bingöl Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Bingöl/Türkiye.
ORCID No: 0000-0001-5177-4952, e-mail: ssap@bingol.edu.tr

(Alınış/Arrival: 24.11.2021, Kabul/Acceptance: 26.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Öz

Çok uzun zamandır endüstriyel uygulamalarda güç ve hareket iletiminde akışkan güç sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Güç iletiminde akışkan kullanılan sistemler “Hidrolik Sistemler” olarak adlandırılır. Bu sistemlerin vazgeçilmez elemanlarından biri de dıştan dişli pompalardır. Son zamanlarda bu pompaların verimi için çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada dıştan dişli pompaların çalışma performansına etki eden parametrelerden biri olan pompa giriş basıncının pompa performansına olan etkisi HAD analizleri ile incelenmiştir. Dıştan dişli pompa HAD analizleri için giriş basıncı 0.75, 1, 1.5 bar, çıkış basıncı 250 bar ve dönme hızı ise 3000 dev.dk⁻¹ olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda pompa çıkış debisi, toplam tork, kavitasyon yüzdesi ve pompanın volümetrik verimi her bir giriş basıncı için karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen analizlere göre pompa performansı için en iyi giriş basıncı 1.5 bar olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: HAD analizi, Dıştan Dişli Pompa, Pompa Performansı

Investigation of The Effect of Inlet Pressure on Pump Performance in Outer Gear Pumps by Had Analysis

Abstract

Fluid power systems have been widely used in power and motion transmission in industrial applications for a very long time. Systems that use fluids in power transmission are called “Hydraulic Systems”. One of the indispensable elements of these systems is external gear pumps. Recently, studies for the efficiency of these pumps have become increasingly important. In this study, the effect of pump inlet pressure, which is one of the parameters affecting the operating performance of external gear pumps, on the pump performance was investigated by CFD analysis. For external gear pump CFD analysis, 0.75, 1, 1.5 bar inlet pressure, 250 bar outlet pressure and 3000 rpm rotational speed were determined. As a result of the analysis, the pump output flow, total torque, cavitation percentage and the volumetric efficiency of the pump were compared for each inlet pressure. According to the analyzes carried out, the best inlet pressure for pump performance was found to be 1.5 bar.

Keywords: CFD analysis, External Gear Pump, Pump Performance

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan makine ve sistemlerin performansı oldukça önemlidir. Endüstride bir makine ve teçhizat performansı en yüksek olması beklenir. Hidrolik endüstrisinde ise bu beklenti enerji verimliliği açısından gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Hidrolik endüstrisinde çok önemli bir yere sahip olan dıştan dişli pompaların kullanımı bazı avantajlarından dolayı oldukça fazladır. Bu avantajlara;

- Kolay imal edilebilirlik
- Geniş devir aralıklarında çalışma imkânı
- Hidrolik sistemlere kolay bağlantı avantajı
- Düşük maliyet

gibi örnekler verilebilir. Ancak bu avantajların yanı sıra pompa çalışma ses seviyesi, kavitasyon oluşumu ve ters akış oluşumu gibi dezavantajlara da sahiptirler. Bu dezavantajlar sistem çalışma performansını başka bir deyişle sistem verimliliğini önemli derecede etkilemektedir. Araştırmacılar, bu dezavantajların giderilebilmesi için sürekli çalışma yapmaktadırlar.

Szwemin et al. [1] dıştan dişli pompa için radyal ve eksenel boşlukların hacimsel verime olan etkisini incelemiştir. Rituraj et al. [2] dıştan dişli hidrolik pompaların hidro-mekanik kayıplarını modellemek için bir metodoloji sunmuşlardır. Ayrıca deneysel verilerle bu metodolojiyi doğrulamışlardır. Deney sonuçlarına göre tork kayıplarına etki eden en önemli faktörün dişlilerin kavrama anındaki sürtünmesi olduğunu belirtmişlerdir. Rituraj et al. [3] dairesel profilli dişli pompaların kaçak akışlarının analiz edilebilmesi için yeni bir model sunmuşlardır. Bu model sonucunda dişli pompadaki iç sızıntıların bilgisayar destekli analizlerle tahmin edilebilmesini kolaylaştırdığı sonucunda varmışlardır. Bir çalışmada simetrik ve asimetric profile sahip dış dişli pompa performansları kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama hacimsel debi, gürültü seviyesi ve güç tüketimi üzerinden olmuştur. Çalışma sadece deneysel çalışma üzerinden yapılmış ve çalışma sonucunda asimetric dişliye sahip dış dişli pompa daha az gürültü seviyesinde, daha az güç tüketiminde ve daha az titreşimde çalıştığı gözlenmiştir [4]. Wang et al. [5] dişlilerin dönme hareketi esnasında basınç değişimini azaltmak amacıyla dişli boşlukları ve dişli burçlarında optimizasyon çalışmaları yapmış ve bu çalışmayı deneysel çalışma ile desteklemiştir.

Literatürde dıştan dişli pompa dişli geometrileri, dişli yatakları ve dişli-gövde boşlukları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalar genellikle deneysel olup sayısal analiz üzerine çalışmalar son zamanlarda ön plana çıkmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışmaların bazılarında ticari bir pompa referans alınarak yapıldığı gözlemlenmiştir [6-11].

Bu çalışmada, dıştan dişli pompa geometrisi kullanılarak farklı çalışma basınçları için HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) analizi gerçekleştirilmiştir. 0.75, 1, 1.5 bar giriş basınç değerleri kullanılarak gerçekleştirilen her bir analiz için pompa çıkış debisi, toplam tork, kavitasyon yüzdesi ve pompa verimi tespit edilmiştir.

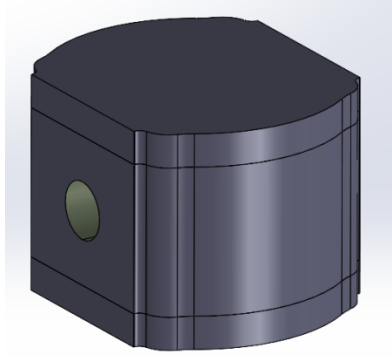
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Pompa geometrisi ve akış hacminin elde edilmesi

Bu çalışma için öncelikle dıştan dişli pompa geometrisi oluşturulmuştur. Bu işlem, SolidWorks CAD programı kullanılarak dişli çark, pompa gövdesi, dişli yatakları ve pompa ön-arka kapakları oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Endüstride ticari olarak kullanılan bir pompa çalışma koşulları (Tablo 1) baz alınarak tasarlanan pompa geometrisi şekil 1’de verilmiştir.

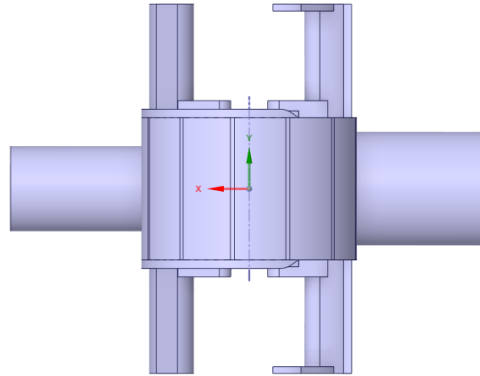
Tablo 1. Dıştan dişli pompa için çalışma koşulları

İletim Hacmi ($\text{cm}^3.\text{dev}^{-1}$)	Servis Basıncı (bar)	Hız ($\text{dev}.\text{dk}^{-1}$)
16	250	3000



Şekil 1. Tasarlanan pompanın 3 boyutlu geometrisi.

Elde edilen geometrinin akış analizinin gerçekleştirilebilmesi için pompaya ait akış geometrisinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple elde edilen pompa geometrisi SpaceClaim programına aktarılarak pompaya ait akış hacmi elde edilmiştir. (Şekil 2)

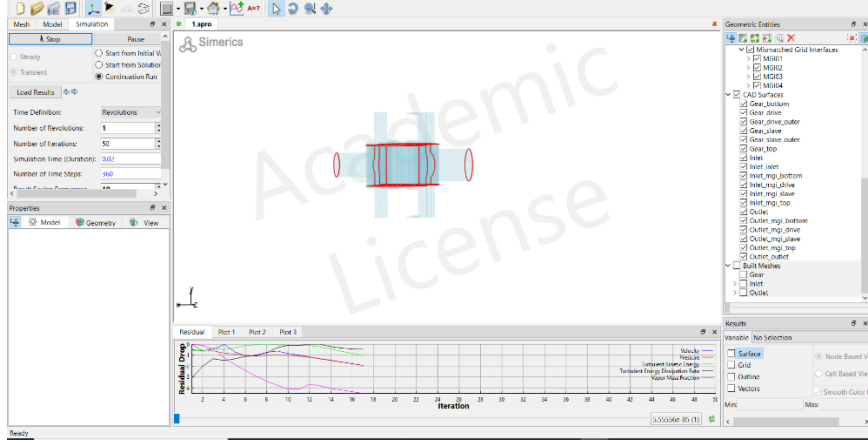


Şekil 2. Elde edilen akış hacmi.

Aynı programda analiz için gerekli sınır koşullarının oluşturulabilmesi için akış hacmi üzerinde gerekli tanımlamalar (giriş kısmı-dişli kısmı-çıkış kısmı) yapılarak akış hacmi, HAD analizi için hazır hale getirildi.

2.2. HAD analizinin gerçekleştirilmesi

Günümüzde HAD analizi akışkanlar mekaniği hesaplamaları için önemli bir unsurdur. Böylece toplam basınç, güç, vektörel oluşumlar, kavitasyon ve gerilme gibi önemli sonuçlar önceden tahmin edebilme imkânı sunar. Böylece yapılan HAD analizleri deneysel çalışmaları azaltarak ürün maliyetini azaltır. Bu çalışmada HAD analizi için Simerics MP+ programı kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan HAD analiz programı.

HAD analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için akış hacmi küçük elemanlara bölünerek akış hacmi için mesh oluşturulmuştur. Bu işlemde yaklaşık 270.000 hücre ile mesh elde edilmiştir. Pompa analizi için kullanılan yağ özellikleri ise tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Analizde kullanılan yağ özellikleri.

Yoğunluk (kg.m ⁻³)	Dinamik Viskozite (Pa.s)	Çalışma Sıcaklığı (° C)
870	0.004	40

Yapılan analizde için giriş şartı basınç girişi olarak belirlenmiş ve 0.75-1.0-1.5 bar değerleri seçilmiştir. Çıkış şartı basınç çıkışı olarak 250 bar servis basıncı belirlenmiştir. Ayrıca dişli çarklar için dönme hızı 3000 dev.dk⁻¹ olarak belirlenmiştir.

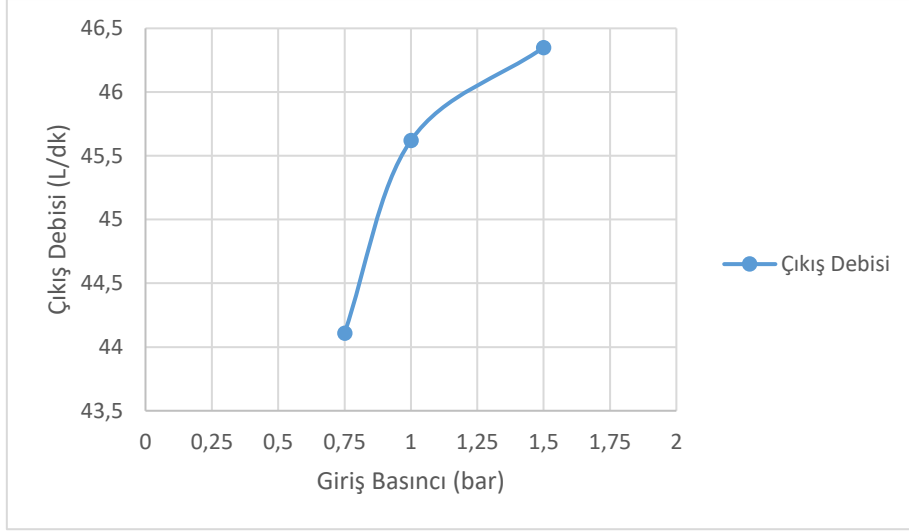
Bu düzenlemeler kapsamında her bir giriş basıncı için ayrı ayrı analizler yapıldı ve her bir analiz için çıkış debisi, toplam tork ve akış içerisindeki kavitasyon yüzdesi belirlenmiştir. Ayrıca pompanın volümetrik verimi aşağıda verilen “Eşitlik 1” kullanılarak belirlenmiştir.

$$\eta = (Q_{çıkış} * 1000)/(V * n) \quad (1)$$

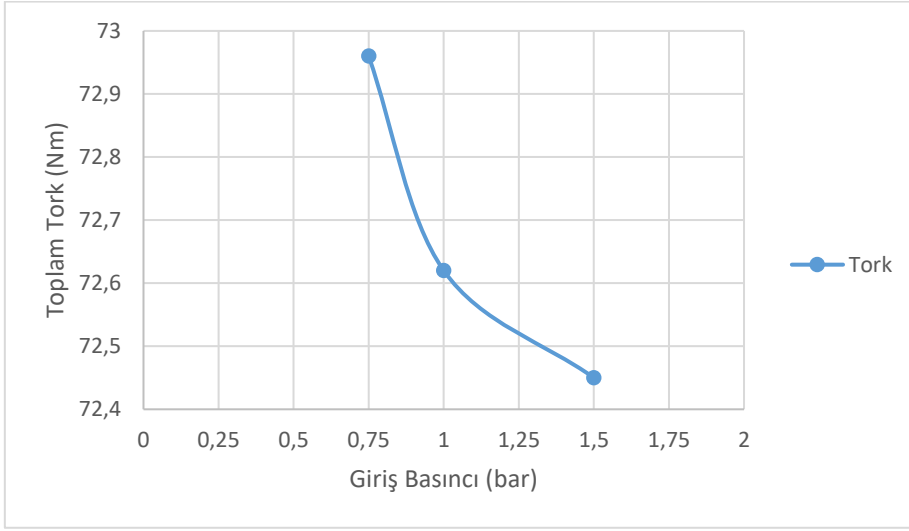
Bu formülde; η pompa volümetrik verimini, $Q_{çıkış}$ pompa çıkış debisini, V pompa iletim hacmini ve n pompa dönüş hızını temsil etmektedir.

3. SONUÇLAR

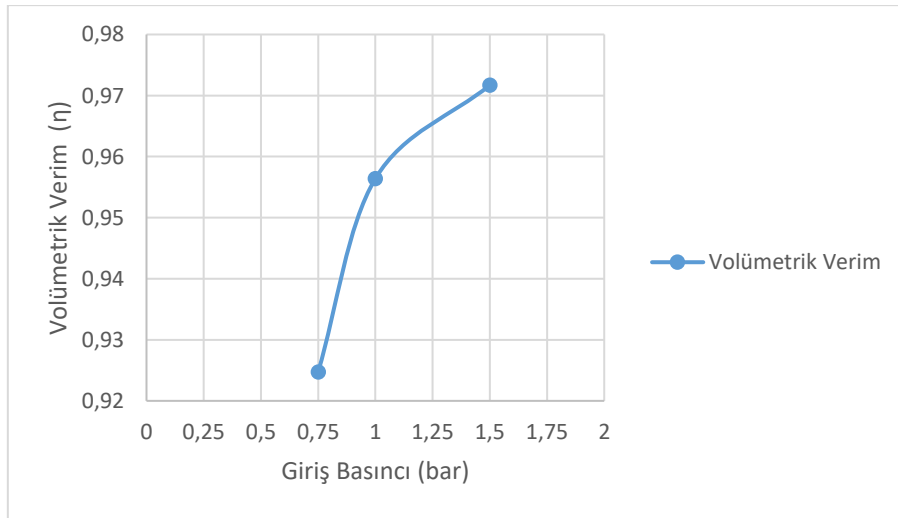
Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre her bir giriş basıncına karşılık gelen pompa çıkış debisi, elde edilen toplam tork ve pompanın volümetrik verimine ait grafikler şekil 4-6’ da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı giriş basıncına sahip pompalar için performans kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 4. Analiz sonucu elde edilen debi-basınç grafiği.



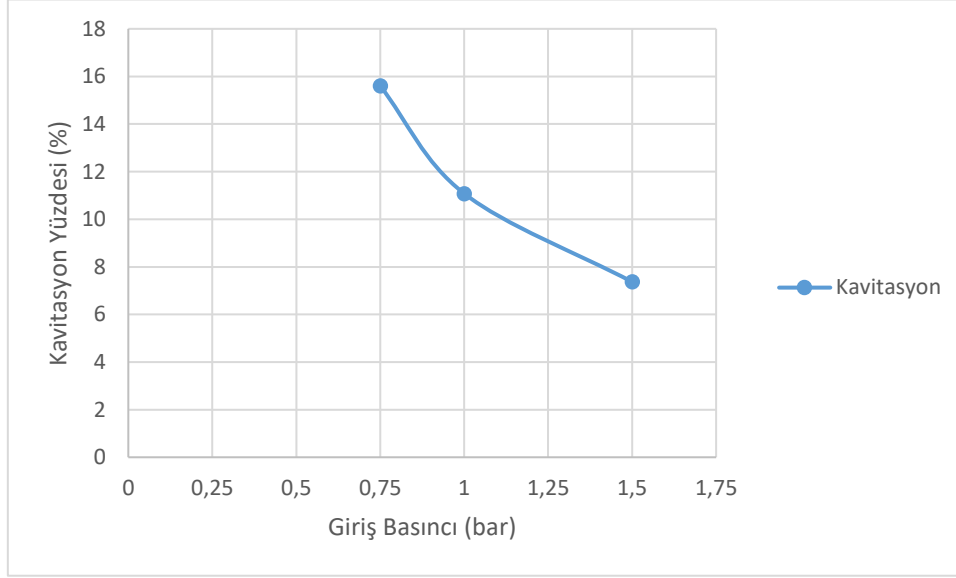
Şekil 5. Analiz sonucu elde edilen tork-basınç grafiği.



Şekil 6. Analiz sonucu elde edilen verim-basınç grafiği.

Verilen grafiklerden şekil 4 ve şekil 6 incelendiği zaman artan giriş basıncıyla birlikte pompa çıkış debisinin ve volümetrik verimin arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 5' de ise artan giriş

basıncıyla birlikte elde edilen toplam dişli torkunun azaldığı görülecektir. Yapılan analizlerde en yüksek çıkış debisi 46.35 l.dk^{-1} ile giriş basıncı 1.5 bar olan analiz sonucunda gözlemlenmiştir. Aynı şekilde en yüksek volümetrik verim ise % 97.16 ile en yüksek giriş basıncında tespit edilmiştir. Ayrıca endüstride kullanılan dişli pompalarda giriş basıncı tavsiyesi olarak atmosfer basıncının üstü önerilir. Atmosfer basıncının altında kalan giriş basınçlarında kavitasyon olayının daha fazla olması beklenir. Şekil 7 verilen giriş basıncına bağlı kavitasyon yüzdesi grafiği ise bu kanıyı desteklemektedir.



Şekil 7. Analiz sonucu elde edilen kavitasyon-basınç grafiği.

Tüm bu grafikler birlikte değerlendirildiğinde pompa performansı açısından en iyi giriş basıncı değerinin yapılan analizler sonucunda 1.5 bar olduğu tespit edilmiştir.

4.TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı giriş basınçlarının pompa performansına olan etkisi yeni bir HAD analizi aracı ile incelenmiştir. 0.75, 1, 1.5 bar olarak seçilen giriş basınçları için 3000 dev.dk^{-1} dönme hızı ve 250 bar servis basıncı sabit tutulmuştur. Verilen pompa modeli için yapılan analizler sonucunda;

- Giriş basıncının artmasıyla elde edilen torkun düştüğü gözlemlenmiştir.
- Artan giriş basıncı ile birlikte çıkış debisinin ve volümetrik verim değerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Pompa çalışma performansı, elde edilen verim ile birlikte pompa akışkanı içerisinde oluşan kavitasyon yüzdesi ele alındığında bu çalışma için en iyi giriş basıncının 1.5 bar olduğu görülmüştür.
- Bu analizlerin, farklı dönme hızlarında ve farklı servis basınçlarında gerçekleştirilip deneysel çalışmalarla desteklenmesiyle gelecek çalışmalar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

5.TEŞEKKÜR

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nce desteklenmiştir. Proje Numarası: FDK-2021-2658

KAYNAKLAR

- [1] Szwemin P, Fiebig W. The influence of radial and axial gaps on volumetric efficiency of external gear pumps. *Energies*. 2021;14(15).
- [2] Rituraj R, Vacca A, Rigosi M. Modeling and validation of hydro-mechanical losses in pressure compensated external gear machines. *Mech Mach Theory*. 2021;161.
- [3] Rituraj R, Vacca A. Investigation of flow through curved constrictions for leakage flow modelling in hydraulic gear pumps. *Mech Syst Signal Pr*. 2021;153.
- [4] Evyapan E. Simetrik ve asimetrik dişliler kullanılan dış diişli pompaların performanslarının kıyaslanması üzerine deneysel bir çalışma [Yüksek Lisans Tezi]. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi; 2016.
- [5] Wang S, Sakurai H, Kasarekar A. The optimal design in external gear pumps and motors. *Ieee-Asme T Mech*. 2011;16(5):945-52.
- [6] Flores-Marquez A, Velazquez-Villegas F, Ascanio G. Numerical analysis of a hydraulic gear micro motor. *J Mech Sci Technol*. 2013;27(5):1351-60.
- [7] Castilla R, Gamez-Montero PJ, del Campo D, Raush G, Garcia-Vilchez M, Codina E. Three-Dimensional Numerical Simulation of an External Gear Pump With Decompression Slot and Meshing Contact Point. *J Fluid Eng-T Asme*. 2015;137(4).
- [8] Frosina E, Senatore A, Rigosi M. Study of a High-Pressure External Gear Pump with a Computational Fluid Dynamic Modeling Approach. *Energies*. 2017;10(8).
- [9] Casari N, Fadiga E, Pinelli M, Randi S, Suman A. Pressure Pulsation and Cavitation Phenomena in a Micro-ORC System. *Energies*. 2019;12(11).
- [10] Mithun MG, Koukouvinis P, Karathanassis IK, Gavaises M. Numerical simulation of three-phase flow in an external gear pump using immersed boundary approach. *Appl Math Model*. 2019;72:682-99.
- [11] Battarra M, Mucchi E. On the assessment of lumped parameter models for gear pump performance prediction. *Simul Model Pract Th*. 2020;99.



Hedef Konuta Yönelik Kalite Belirleyicileri

Sıddıka Filiz AYDIN GÖK¹

Doğuş Üniversitesi STF Mimarlık Bölümü,
ORCID No: 0000-0002-4996-1828, e-mail: sfilizgok@yahoo.com

(Alınış/Arrival: 03.12.2021, Kabul/Acceptance: 26.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Özet

2012’de yürürlüğe giren 6306 sayılı Kenstel Dönüşüm Kanunu Türkiye’de konutun fen ve sanat norm ve standartlarına uygun olmasını, sağlıklı ve güvenli yaşam çevreleri sumasını yeniden gündeme getirmiştir. Konutta kalite hedefleniyorsa, öncelikle planlama aşamasında; kullanıcıyı mutlu edecek ve doğal yapıya zarar vermeyecek niteliklerin tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, konutun ve çevresinin sahip olması gereken özellikleri kalite belirleyicileri olarak tanımlayabilmektir. Bu bağlamda ilgili uluslararası standartlar ve ulusal öneriler incelenmiş, konut tasarımına, yapımına ve işletmesine yönelik kalite belirleyicileri araştırılmıştır. Ulusal ölçekte; ODTÜ MATPUM tarafından 2010’da Toplu Konut İdaresi için hazırlanan “Toplu Konut Alanlarında Kentsel Çevresel Standartlar İçin Bir Değerler Sistemi Önerisi” ile İTÜ ve ÇŞB ortaklığıyla geliştirilen “Süper Kent Sistemi” referans alınmıştır. Uluslararası ölçekte ise; DQI, BQA, LEED, BREEAM-HQM, HQS, HQI gibi kalite değerlendirme sistemlerinin kriterleri incelenmiştir. Mahalle ölçeğinden, mekan ve yapı elemanı ölçeğine kadar konut kalite belirleyicilerinin bütüncül bir şekilde oluşturulmuş olması bu çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Araştırma sonucunda referans alınan kalite göstergelerinin sentezi sonucunda 6 ana kalite belirleyici grubu tanımlanmıştır. Bunlar; Konum Olanakları, Görsel Etki ve Erişim, Konut Yeri ve Planı, Güvenlik, Yapısal Kalite ve Konfor, Sürdürülebilirlik, Ekonomiklik’tir. Ayrıca, ana kalite belirleyici başlıkların altında toplam 34 adet alt kalite belirleyicisi ortaya çıkmıştır. Önerilen konut kalite göstergeleri Türkiye’ye özgü bir “Konut Kalite Değerlendirme Sistemi”nin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: tasarımda kalite kriterleri, konutun kalite göstergeleri, yapıda kalite değerlendirme sistemleri

Quality Indicators for Target Housing

Abstract

The Urban Regeneration Law No. 6306, which entered into force in 2012, has brought to the fore the housing in Turkey to comply with the norms and standards of science and art, and to provide healthy and safe living environments. If we aim to create quality on housing, we must first define the properties of the residence that will make the user satisfaction and not harm the natural structure at the planning stage. The aim of this study is to define the properties that the house and its surroundings should have as quality determinants. In this context, relevant international standards and national recommendations were examined, and quality determinants for housing design, construction and operation were investigated. On a national scale; "A Values System Proposal for Urban Environmental Standards in Mass Housing Areas" prepared by METU MATPUM in 2010 for Housing Development Administration and "Super City System"

developed in partnership with ITU and Ministry of Environment and Urbanisation was taken as reference. On the international scale; The criteria of quality evaluation systems such as DQI, BQA, LEED, BREEAM-HQM, HQS, HQI have been examined. The fact that the main skeleton of the housing quality criteria from the scale of the neighborhood to the scale of the space and building elements has been formed in a holistic manner constitutes the originality of this study. As a result of the synthesis of the quality indicators taken as reference at the end of the research, 6 main quality determinant groups were defined. These; Location Opportunities, Visual Impact and Access, Housing Location and Plan, Security, Structural Quality and Comfort, Sustainability, Affordability. In addition, a total of 34 sub-quality indicators emerged under the main quality determinants. Recommended housing quality indicators specific to Turkey a "Housing Quality Assessment System" will contribute to the further development.

Keywords: quality criteria in design, quality indicators of housing, quality assessment systems in building

1. GİRİŞ

Türkiye’de önceleri bireysel olarak sunulan konut, 1960’lardan sonra kitlesel olarak üretilen ve kar elde etmek üzere sunulan bir ürün haline dönüşmüştür. 1980’lerden sonra yükselen bir ivmeyle artan konut üretimi 1999 depremiyle kısa bir duraklama yaşamıştır. 2000’lerin başında yapıların depreme dayanıklı üretimini sağlamak ve bunu denetlemek üzere birtakım yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak 2001 yılında yürürlüğe giren 4708 sayılı Yapı Denetim Kanunu ve 2006’dan yürürlüğe giren (1997 tarihli eskisinin yerine) Yapı Güçlendirme Yönetmeliği daha sonra onun yerine geçen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği öne çıkmıştır.

2001’den önce inşa edilen konutların depreme karşı dayanıklı olmadığı kabulü, 7,5 milyon konut stokunun yeniden inşa edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018). Bu sorun aynı zamanda ekonomik çarkın dönmesi için de bir fırsat yaratmıştır. 2012’de “6306 Nolu Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” nun (Kentsel Dönüşüm Kanunu) yürürlüğe girmesiyle inşaat sektörü yeni bir ivme kazanmış ve 2019 yılı sonuna kadar 10 milyona yakın sayıda konut inşa edilmiştir [1]. Kentsel Dönüşüm Kanunu’nun amacı her ne kadar kaliteli yaşam çevreleri yaratmak olsa da kanun daha çok kat malikleri, yüklenici ve kamu arasında mülkiyet paylaşım sürecini düzenleyen ve süreci kolaylaştırmak üzere kira yardımları, vergi muafiyetleri ve finansman olanakları sunan bir yapıdadır. Konut ve çevresinin niteliklerinin iyileştirilmesine dair yeni düzenlemeler içermemektedir. *Depreme dayanıklılık, yapım süreci denetimi, enerji verimliliği, engelli erişimi ve asansörler için yapılan yasal düzenlemeler dışında, yıkılan konutlar için geçerli olan tasarım ve yapım kuralları, aynı şekilde yeniden inşa edilen yapılar için de halen geçerlidir.* İmar Kanunu 1985 tarihlidir. Tip İmar Yönetmelikleri’nde neredeyse her birkaç yılda bir gerçekleşen revizyonlar ise daha çok inşaat alanı hesabından muaf tutulacak alanları tanımlamaya/çeşitlendirmeye odaklanmaktadır. Dolayısıyla aynı kurullarla ve mevcut kentsel donatılar üzerine yeni yoğunluk artışları da ekleyerek daha nitelikli/kaliteli konut alanları yaratmayı beklemek doğru bir yaklaşım olmayacaktır.

Bu bağlamda gelişmiş ülkelerde olduğu gibi konut ve yerleşimlerin kalite kriterlerini tanımlamaya ve kentsel dönüşüm sürecini de tanımlanan bu kriterler üzerinden yönlendirip kontrol etmeye ihtiyacımız bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, konut alanlarının sahip olması gereken kalite belirleyicilerini bir bütün olarak tanımlamak ve sunmaktır. Bu bağlamda ilgili uluslararası standartlar ve ulusal öneriler incelenmiş, konut tasarımına, yapımına ve işletmesine yönelik kalite belirleyicileri araştırılmış, derlenmiştir ve sentezlenmiştir.

Böylece, Türkiye'ye özgü, ulusal ve bütüncül bir "Konut Kalite Standartları Sistemi"nin ve yaşam kalitesini arttırmayı öncelleyen imar düzenlemelerinin geliştirilmesine yönelik katkı sunulması hedeflenmektedir.

2. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

"Kalite kimse bakmadığında da doğru olanı yapmaktır."

Henry Ford, 1969 [2]

Ford'un dikkat çektiği üzere aslında bir ahlak felsefesi olan "kalite" kavramının sözlük anlamı "nitelik"tir. Kalite (Qualites) Latince "nasıl oluştuğunu sorma" anlamına gelen "qualis" kelimesinden türemiştir [3]. Juran (1988) [4], kaliteyi, müşterinin ihtiyaçlarını karşılayan ve üründe tatmini sağlayan özellikler olarak tanımlamış ve kalite yerine "kullanım için uygunluk" (fitness for use) ifadesini kullanmıştır. Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu [5], için kalite bir ürünün veya hizmetin tüketicinin isteklerine uygunluk derecesidir.

Kotler de (1996) [6], "kalite, ürünün müşteriler tarafından değinilen veya ima edilen istekleri karşılayabilme yeteneğine sahip niteliklerinin toplamıdır" demektedir. Crosby'ye (1992) [7], göre kalite "şartlara uygunluk" anlamına gelmektedir. Şartlar ise standartlar ile tanımlanmaktadır. Crosby'e göre kalitede tek performans standardı "sıfır hata"dır. Kalite kısaca "müşterinin memnuniyeti" ya da "kullanıma ve gereksinime uygunluk" olarak da tanımlanabilir [8].

Kalite felsefesini, her alanda olduğu gibi, konut üretimi alanında da uygulamak mümkündür. 1990'lı yıllarda kalite yönetim sistemleri yapı sektöründe "müşteri" memnuniyetinin sağlanması ve buna bağlı olarak verimliliğin ve karlılığın artırılması amacıyla giderek yaygınlaşmıştır. Kalite yönetimi anlayışında "müşteri" kavramı sadece kullanıcıyı ya da tüketiciyi değil sistemdeki tüm aktörleri tanımlamaktadır. Uluslararası alanda iş yapmak isteyen yükleniciler rekabet güçlerini arttırabilmek için ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi, OHSAS İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi gibi kalite lisansları almaktadırlar. Ancak bu belgeler kaliteyi garantilememekte, sadece kaliteyi sağlayan süreci nasıl yöneteceğinizin rehberliğini sunmaktadır. Kalite yönetim sürecinin ana kurgusu "planla, uygula, kontrol et, iyileştir" şeklindedir [8]. Konutun kalite kriterlerinin tanımlanması ve kullanıcı değerlendirmelerine göre önem ağırlıklarının ölçülmesi bu süreçteki "planlama" sekmesi içinde konumlanmaktadır. Ülkemizde kalite yönetim sistemleri için belgelendirme çok yaygınlaşmış iken herkesçe kabul edilmiş yapı kalite kriterlerinin tanımlanması konusunda yeterli seviyeye gelinememiştir.

Kalite kavramının karşılığının kullanıcı/müşteri ihtiyaç ve isteklerinin tatmini olduğundan yola çıkacak olursak nitelikli konutun da kullanıcısının ihtiyaçlarını karşılaması gerektiğini söylemek mümkündür. Kullanıcının ihtiyaçlarını ve buna bağlı olarak konutun sahip olması gereken asgari nitelikleri; Maslow (1954) [9]. Hiyerarşisi'ni mimari ihtiyaçlara uyarlayarak ana hatlarıyla tanımlamak mümkündür. Maslow hiyerarşisine dayanarak bireyin konuttan

beklentileri; barınma, güvenlik, konfor, sosyalleşme ve kendini ifade etme ve görsel etki ve estetik şeklinde sıralanabilir [10]. Kaldı ki bir mimari yapının sahip olması gereken ana unsurlar M.Ö.1.yüzyılda Romalı Kuramcı ve Mimar Vitruvius tarafından; sağlamlık (firmitas), işlevsellik (utilitas) ve güzellik (venustas) şeklinde tanımlanmıştır (11).

Konutun kalite değerlendirmesi üzerine yapılan araştırmalar 20. Yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. Bu konudaki ilk çalışma Solow tarafından 1946 yılında ABD’de iki farklı konut yerleşiminin kalite değerlendirmelerinin birbirleriyle kıyaslanması şeklinde yapılmıştır. Solow, konutu; strüktür, apartman ve komşuluk ölçeklerinde değerlendirmiştir [12]. Bundan iki yıl sonra Twichell (1948) [13] konut kalitesini ölçmek üzere yeni bir model sunmuştur. Bu model konut komşuluğunun/yerleşiminin fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesine yoğunlaşmıştır. Kain ve Quigley (1970) [14] konutun piyasa değerini konutun kalite kriterleri üzerinden hesaplamışlardır. Nitel ve nicel olarak sınıfladıkları konut kalite belirleyicilerini; apartman ünitesi, strüktür (taşıyıcı ve diğerleri), parsel ve mikro-komşuluk ölçeğinde değerlendirmişlerdir. Varady ve Presier (1998) [15] yayınladıkları çalışmada Amerika’da kamu tarafından sunulan yaygın sosyal konutlarda kullanıcı memnuniyetini sağlayacak kriterleri belirlemeye çalışmış ve kullanıcı profili ve değerlendirmeler arasındaki ilişkiyi tahlil etmişlerdir.

2000 sonrası yapılan araştırmalarda da konutun kalite değerlendirmesi benzer çerçevede ele alınmaktadır. Ancak kriter sayısı çok daha fazladır. Bu nedenle araştırmalar; ekolojik tasarım, sağlık kriterleri, güvenlik kriterleri, iç mekanda; havalandırma, nem, akustik ve komşuluk/yerleşim özellikleri gibi konularda çeşitlenmektedir. Clemente ve De Matteis (2010) [16] Housing for Europe projesi kapsamında yaptıkları çalışmalarda, kaliteli bir konutun fonksiyonel, çevresel, estetik ve psikolojik refah ihtiyaçlarına cevap vermesi gerektiğini belirtmiştir. Marans (2012) [17], yaşam kalitesini belirleyen mekânsal kalitenin ölçülmesinin nesnel ve öznel kriterlerin birlikte değerlendirilmesi ile mümkün olabileceğini söylemektedir. Kalite değerlendirmeleri değerlendirmeyi yapan gruplara göre de değişmektedir (Acre, Wyckmansa, 2014) [18] Choi ve Cho (2012) [19] apartman kullanıcıları ile apartman sunan firmaların konutun kalitesine yönelik değerlendirmelerini kıyaslamıştır. Kang vd. sosyal konutların iç mekan ve çevresel kalitesinin sağlık eksenindeki değerlendirmesini kullanıcılara ve uzmanlara (tasarımcı, mühendis vd.) sorarak yapmışlar ve aralarındaki farkları analiz etmişlerdir (Kang, Lee, Kim, Kim, 2014) [20].

Konutun kalitesi üzerinde yapılan değerlendirmelerin çoğunlukla kullanıcı memnuniyeti/tatmini üzerinden yapıldığı görülmektedir. Çalışmalarda, genellikle farklı konut tiplerindeki kullanıcıların memnuniyet düzeyleri kıyaslanmıştır. 2015 yılında Mridha orta yükseklikteki apartmanların kullanıcılarının memnuniyet düzeylerini incelemiştir (Mridha, 2015) [21]. Sima (2015) [22] da farklı apartman plan şemalarını kullanıcı değerlendirmeleriyle kıyaslamış ve seçenekleri optimize etmiştir. Bennet vd. (2016) [23] Yeni Zellanda’daki kiralık konutlarda, sağlık, güvenlik ve enerji verimliliği koşullarının sağlanıp sağlanmadığını test etmişlerdir. Brkanić (2017) [23] konutun kalite kriterlerini tanımlamak üzerinde oldukça detaylı bir araştırma yapmıştır. Kalite kriterlerini; ünite/daire, apartman, komşuluk, sosyo-ekonomik ölçeklerde belirlemiştir.

Gültekin (1999) [24] Ankara’da toplu konutlarda yapı elemanlarına dair kullanıcı değerlendirmelerini araştırdığı çalışmasında, kalite kriterlerini; fiziksel, görsel, sosyal, psikolojik ve ekonomik kriterler şeklinde 5 ana başlık altında çeşitlendirmiştir. Kullanım

sonrası araştırmalara yoğunlaşan Özsoy vd. (1995) [25], mekânsal kalite düzeyinin belirlenmesi için performans boyutu ile psiko-sosyal boyutun birlikte değerlendirildiği bir model geliştirmişlerdir. Kellekçi ve Berköz (2006) [26] konut ve konut çevresi memnuniyetinin hem nesnel, hem de öznel değerlerin ele alınması ile oluşturabileceğini vurgulamışlardır.

Ancak bütün araştırmalar konutun kalite kriterleri konusunda çeşitlilik sunmakla birlikte, konutun kalite göstergelerinin tam olarak ne olduğu konusundaki belirsizliği ortadan kaldıramamaktadır. Kalite standardizasyonu da beraberinde getirir. Bu nedenle Avrupa ve Amerika'da mimari tasarımın ve/veya konut tasarımının kalite kriterleri/göstergeleri resmi olarak tanımlanmıştır. Bu kriterler/göstergeler üzerinden uygunluk değerlendirmeleri yapılmaktadır.

Amerika'da HUD tarafından geliştirilen HQS (Housing Quality Standards) konutta kalite kontrol sağlamayı hedeflerken, LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) de ekolojik tasarım ve ekolojik konut sertifikasyonunu öncelemektedir. Avrupa'da ise DQI (Design Quality İndicator) ve ona bağlı olarak her bina tipi için ayrı ayrı geliştirilen AEDET (Achieving Excellence Design Evaluation Toolkit), DEEP (Design Excellence Evaluation Process), BQA (Building Quality Assessment) ve HOI (Housing Quality İndicators) sistemleri kaliteyi sağlamak için kendine özgü belirleyici ve göstergeler sunmaktadır. HQI (Housing Quality İndicators) özellikle konutlar için kalite değerlendirme ve kaliteyi sağlama araçlarıdır [27]. İngiltere de geliştirilen BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ise ekolojik tasarım sertifikasyon süreci ile diğerlerinden ayrışmaktadır. BREEAM kapsamında ayrıca sadece konutlar için geliştirilen HQM (Housing Quality Mark) kalite değerlendirme sistemi de tanımlanmıştır [28].

Design Quality İndicators (DQI) ve Housing Quality İndicators (HQI) konut kalite kriterlerinin tanımlanmasında önemli bir referans olarak görölmektedir. İngiltere'deki The Commission for Architecture and the Built Environment (CABE) tarafından Vitruvian bir anlayışla geliştirilen DQI'nın ana kriterleri; işlevsellik, yapı etkisi ve yapı kalitesi unsurlarının kombinasyonudur [29].

Housing Quality Indicators (2007), [30] ise konut kalitesini sağlamak üzere United Kingdom National Affordable Housing Programme (NAHS) tarafından kurulmuş bir değerlendirme sistemidir. HQI'da kalite kriterlerinin/göstergelerinin grup başlıkları; konum; görsel etki ve yoğunluk, açık alanlar, yollar ve hareketler, plan şeması, gürültü, engelsiz erişim, sürdürülebilirlik ve çevre ve yaşamı inşa etmek şeklindedir. Bu sisteme bağlı olarak kullanıcı değerlendirmelerini ölçen "Building for Life" [31] da HQI'ya paralel olarak tanımlanmış 20 kriterden/göstergeden oluşmaktadır. Bunlar; işlevsellik, çekicilik, sürdürülebilirlik, sosyal çevre, karakter/kimlik, yollar, otoparklar, yaya ulaşımı, strüktür başlıkları altında tanımlanmıştır. Bu sistemlerde değerlendirmeler uzmanların konut için kriterlere/göstergelere verdikleri puanlar üzerinden yapılmaktadır.

1960'larda geliştirilen "Halk Konut Standartları" (1964) girişimini istisna tutarsak "konut ve çevresinin bütüncül kalite kriterleri/göstergeleri" Türkiye'de henüz resmi olarak tanımlanmamıştır [32]. Yürürlükteki imar mevzuatı çok parçalıdır ve güncel kriterleri karşılamaktan uzaktır. Ancak bu konuda son dönemde yapılmış iki çalışma dikkat çekmektedir. Bunlardan ilki 2010 yılında ODTÜ MATPUM tarafından sunulan "Toplu Konut Alanlarında Kentsel Çevresel Standartlar İçin Bir Değerler Sistemi Önerisi"dir [33]. İkincisi ise TC. Çevre

ve Şehircilik Bakanlığı ve İTÜ tarafından yürütülen ekolojik tasarımı önceleyen “Süper Kent Sistemi” (2015) projesidir [34].

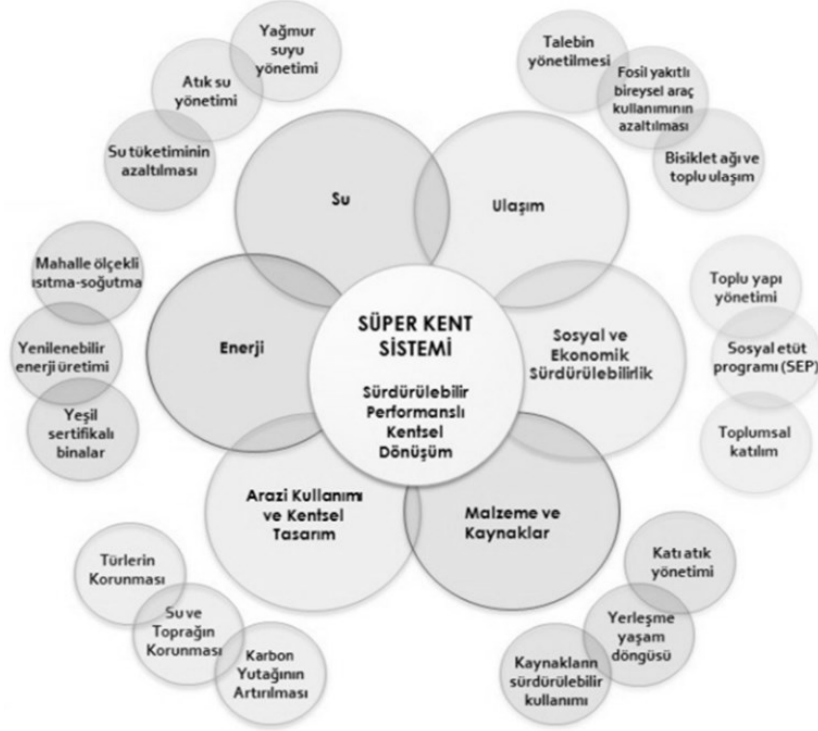
MATPUM değerler sistemi önerisinin ulusal ölçekte yayınlanmış en kapsamlı ve detaylı standart önerisi olduğu görülmektedir. Mahalle ölçeğinden, bina, mekan hatta yapı elemanı ölçeğine kadar fiziksel standartlar tanımlanarak detaylandırılmıştır. Önerilerinde; yerleşimin kimliğine, yeşil alanların varlığına, alan kullanımı ve yoğunluk dengesine, su tüketiminin minimize edilmesine, enerji verimliliğine, atık yönetimine ve engelsiz tasarım kriterlerine dair oldukça detaylı standartlar yer almaktadır (Tablo 1). [33]

Tablo 1. MATPUM (2010) Standartlarının Yoğunlaştığı Ana Kriterler

MATPUM (2010) Standartlarının Ana Kriterleri	
Kentsel Tasarım Ölçeğinde	Yapı Tasarımı Ölçeğinde
Kavramlar ve Kimlik	Apartman Girişlerinin Özellikleri
Sürdürülebilirlik ve Mekansal Destek Sist.	Apartman Ortak Alanlarında Dolaşım
İletişim Sistemleri	Toplu Konutlarda Sera, Balkon, Teras ve Korkuluklar
Nüfus/üfus Yoğunluğu /Konut Yapısı Biçimi	Meskenlerde Depolama
Yerleşim ve Çevre Düzeni,	Meskenlerde Yatak Odaları
Doğal Ekolojik Yapı ve Doğal Peyzaj	Meskenlerde Mutfaklar
Arazi Değerlendirmesi ve Yer Seçimi	Meskenlerde Banyo ve Tuvaletler
Peyzaj Kullanımı ve Çevresel Etkiler	Toplu Konutlarda Yalıtım
Güvenlik	Toplu Konutlarda Enerji Verimliliği
Bütüncül Sistem Olarak Açık Alanlar	Toplu Konutlarda Güvenlik
Doğal Enerji Kaynaklarının Kullanımı	
Yaya Merkezli Yollar	
Evsel Atıkların Değerlendirilmesi	
Spor Alanları	
Evrensel ve Kapsayıcı Tasarım	

Süper Kent Sistemi Projesi'nin ise 2015 yılından itibaren TC. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) tarafından yürütüldüğü anlaşılmaktadır. Uzun adı; Sürdürülebilirlik Performanslı Kentsel Dönüşüm Projesi olan çalışma, Kentsel Dönüşüm Kanunu'nda bahsedilen norm ve standartların tanımlanmasının gerekliliğine olan farkındalığı göstermektedir. Bu proje kapsamında geliştirilen ve Bakanlığın web sayfasında yer alan “Sürdürülebilirlik Performanslı Kentsel Dönüşüm Hakkında Yönetmelik Taslağı”nda özellikle alan bazında kentsel tasarımdan başlayarak bina ölçeğinde detaylandırılan sürdürülebilir ve ekolojik tasarım normlarına atıfta bulunmaktadır. Kanun önerisi henüz tamamlanmamıştır. Süper Kent Sistemi için Bakanlığın web sayfasında; Arazi Kullanımı ve Kentsel Tasarım; Enerji; Su; Ulaşım; Malzeme ve Kaynaklar; Sosyal ve Ekonomik Sürdürülebilirlik olmak üzere 6 temel uygulama alanında asgari ölçütlerin tanımlandığı ifade edilmektedir. Bina

derecelendirmelerinin ise; Enerji Tüketim Kaynaklı ÇED, Su Tüketim Kaynaklı ÇED, Malzeme Kaynaklı ÇED, Sosyoekonomik Sürdürülebilirlik Kaynaklı ÇED kriterleri üzerinden yapıldığı anlaşılmaktadır (Şekil 1), [34].



Şekil 1. Süper Kent Sistemi Derecelendirme Alanları [34]

2.1. Uluslararası Bina/Konut Değerlendirme Sistemleri ve Kriterleri

Prasad (2004) nümerik olarak ölçülemeyen bir şeyin yok sayılacağını ifade etmiştir. Yapı ve kalite konularında herkesin bir fikri olsa da ortak bir kaniya varmak oldukça zordur. Uluslararası alanda bunun denendiği, bina veya konuta yönelik birtakım “kalite değerlendirme araçları” geliştirildiği görülmektedir. Bu bölümde bunlardan; DQI, BREEAM-HQM, HOI, LEED, HQS gibi değerlendirme sistemlerinin ana kriterleri açıklanmaktadır [27].

DQI sistemi; AEDET Evolution, DEEP, BREEAM sistemlerini kapsayan bir yapıdadır. AEDET Evolution (Achieving Excellence Design Evaluation Toolkit) sağlık yapıları için, DEEP (Design Excellence Evaluation Process) ise askeri yapılar için geçerli olan bir tasarım ve yapı değerlendirme aracıdır. Yine Yeni Zelandada kökenli olan BQA (Building Quality Assessment) ofis/büro binaları için geliştirilmiştir. Konutla ilgili olmadıkları için bu makalede detaylarına yer verilmemiştir.

2.1.1. DQI (Design Quality Indicator)

DQI (Design Quality Indicator/Tasarım Kalite Göstergesi), 1999 yılında İngiltere’de Construction Industry Council tarafından geliştirilmiştir. Commission for Architecture and the Built Environment (CABE), The Department of Trade and Industry, The Office of Government Commerce, Constructing Excellence and the Strategic Forum of Construction kurumları tarafından desteklenmektedir (DQI) [35].

CABE binaların ve kamusal alanların kalitesini artırarak yaşam kalitesinin artırılabilirliğini savunmaktadır. DQI ile kalite koşullarını sağlayan okullarda öğrenme oranının ve iş yerlerindeki verimliliğin artacağı ifade edilmektedir. Yine bu sistemle hastanelerde iyileşme süresi ve sokaklardaki suç oranı azaltılabilecektir. DQI bina kalitesini geliştirebilmek için; hedefleri ortaya koymakta, başarılı örnekleri sunmakta (Benchmarking), projenin zayıf ve güçlü yönlerini ortaya çıkarmakta, fırsatları belirlemekte ve tasarıma yoğunlaşmaktadır. Bu süreç isteğe bağlı olarak kendi belgelendirme kuruluşları vasıtasıyla yönetilmektedir. Sistemin zorunlu olmadığı anlaşılmalı birlikte 2004 yılı sonunda 500 projenin sisteme dahil olduğu görülmektedir [36].

Diğer kalite değerlendirme sistemlerine göre EU’de ve USA’da daha tanınmış DQI sistemi bina yapım sürecinin tamamını içine alan bina tasarım kriterlerini değerlendirmeyi hedeflemektedir. Paydaşların değerlendirmelerini online anketlerle ve workshop çalışmalarıyla ölçmektedir. Böylece en kaliteli ve kullanıcıyı en çok tatmin eden bina elde edilebilecektir [27].

CABE (Commission for Architecture and the Built Environment) DQI ile ortak bir yaklaşımla Vitruvius’un mimari kriterlerini esas almışlardır. “İşlevsellik, Etki ve Yapı Kalitesi” şeklinde üç ana başlık altında tanımlanan ana kriterlerin 10 farklı gösterge üzerinden detaylandığı görülmektedir (Tablo 2) [35], [36].

- İşlevsellik (1. Kullanım, 2. Erişim ve 3. Mekan); Yapılan düzenlemeler herkes için kullanılabilir olmalıdır.
- Etki (4. Karakter ve Yenilik, 5. Biçim ve Malzeme, 6. İç Mekan Çevresi, 7. Kente Fiziksel ve Sosyal Uyum); Sosyal ve fiziksel çevreye duyarlı olmalı ve değer katmalıdır. Tasarımda mimarlığın ve diğer (mühendislik) disiplinlerin uyumu sağlanmalıdır.
- Yapı Kalitesi (8. Performans, 9. Mühendislik Sistemleri ve 10. Yapım Sistemleri); Mühendislik performansının ustalığı, strüktürel sağlamlık, projenin yaşam döngüsü içinde sağlık ve güvenlik gereklerine uyumu tanımlanır [27], [36].

DQI kriterlerini sağlayan bir tasarımın/yapının BREEAM sertifikasını alması kolaylaşmaktadır. DQI; yatırım ve yaşam maliyetlerini düşürmeyi, paydaşların katılımını öncelemektedir. Sistem kullanıcıların geçmiş değerlendirmelerini de dikkate almaktadır (DQI).

Tablo 2. DQI Tasarım Kalite Göstergeleri (DQI)

DQI Tasarım Kalite Göstergeleri	
Ana Kriterler	Alt Kriterler
İşlevsellik	Kullanım
	Erişim
	Mekan
Etki	Karakter ve Yenilik
	Biçim ve Malzeme
	İç Mekan Çevresi
	Kente ve Fiziksel Çevreye Uyum
Yapı Kalitesi	Performans
	Mühendislik Sistemleri
	Yapım Sistemleri

2.1.2. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ve HQM (Home Quality Mark)

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) en eski bina değerlendirme sistemidir. 1988 yılında, İngiltere’de, The Building Research Establishment (BRE) tarafından geliştirilmiştir. BREEAM; master plan aşamasından, altyapı, yeni inşaat, onarım-yenileme, kullanım aşamalarında tüm bina tipleri ve çevrelerinin sürdürülebilir değerleri taşımasını hedeflemektedir. Konut, okul, ofis, fabrika, mahkeme, hapisane vb. bina tiplerinin tümü için uygulanabilmektedir. Yaşam döngüsü yönetimi, sağlık, enerji, ulaşım, su, malzeme, alan kullanımı/ekoloji, kirlilik, yenilik başlıkları altında kriterler tanımlanmıştır. Tek başına anket uygulanarak ölçülmektedir. Likert tipi ölçeklendirme kullanılmaktadır. BREEAM, enerji kullanımı kontrolünü, çevreye zarar vermeden doğa ile uyumlu bir yaşamı incelemektedir (BREEAM, 2016) (Tablo 3) [37].

Tablo 3. BREEAM Tasarım/Yapı Değerlendirme Kriterleri

BREEAM Tasarım Değerlendirme Kriterleri	
Ana Kriter	Alt Kriter
Yönetim	Yaşam Döngüsü Maliyeti
	Alan/Arazi İnceleme
Sağlık ve İyilik	Su
	Aydınlatma
	CO ₂ Emisyonu
	Enerji Kullanımı
Taşıma/Transfer	Gürültü Kontrolü
	Toplu Taşıma
	Bisikletçilik
Su	Dağıtım
	Geri Dönüşüm
Malzeme	Sulama Sist.
	Yeniden Kullanım
Alan Kullanımı ve Ekoloji	Yalıtım
	Yeniden Kullanım
	Ekolojik Değer
Çevre Kirliliği	Biyçeşitlilik
	Su Kaynakları
Yenilikçilik	Refrigerant Sızıntı (Kimyasal Zararlılar)

BREEAM’a bağlı olarak Home Quality Mark (HQM) isminde konut kalitesini belgelendiren bir sistem geliştirilmiştir [38]. Home Quality Mark (HQM) sistemi toplam 500 krediyi ağırlık olarak paylaşan alt kriterlerden oluşmaktadır. Kriterler; “maliyetim”, “rahatlığım”, “ayak izim” şeklinde üç ana katmanda değerlendirilmektedir. Her kriter bu katmanlar üzerinden uzmanlar tarafından puanlandırılmaktadır. HQM’in kriterleri Tablo 4.’te gösterilmektedir [38].

Tablo 4. HQM Değerlendirme Kriterleri (BRE-HQM, 2016)

BRE-HQM Değerlendirme Kriterleri	
Ana Kriter	Alt Kriter
Çevre; Ulaşım ve Hareketler	Toplu Ulaşıma Erişim
	Alternatif Ulaşım İmkanları
	Yerel Olanaklar
Çevre; Açık hava	Ekoloji
	Rekreatif Mekanlar
Çevre; Güvenlik ve Direnç	Sel Riski
	Yağış Etkilerinin Yönetimi
Evim; Konfor	Güvenlik
	Bina İçi Kirlilik
	Günlüğü
	İç-Dış Gürültü
	Ses İzolasyonu
	Isıtma
Evim; Enerji ve Maliyet	Havalandırma
	Enerji ve Maliyet
	Enerjinin Yayılması
Evim; Malzeme	İç Hava Kalitesindeki Etkisi
	Kaynak Kullanımı
	Çevresel Etki
	Yaşam Döngüsü Maliyeti
Evim; Mekan	Dayanıklılık
	Kuru Mekan
	Erişim ve Mekan
Evim; Su	Geri Dönüşebilir Atık
	Su Verimliliği
Teslim; Kalite Güvence	Teslime Hazırlık
	Kabul ve Test
	Kontrol ve Tamamlama
Teslim; İnşaat Etkisi	İnşaat Şirketinin Sorumluluğu
	İnşaatın Enerji Kullanımı
	İnşaatın Su Kullanımı
	İnşaatın Atık Yönetimi
Teslim; Kullanıcı Tecrübesi	Teslim Sonrası Destek
	Ev Bilgilendirme
	Akıllı Ev
	Kullanıcı Değerlendirmesi

2.1.3. HQI (Housing Quality Indicator)

Housing Quality Indicator (HQI) konut kalitesini sağlamak üzere ilk olarak 1999 yılında United Kingdom National Affordable Housing Programme (NAHS) tarafından kurulmuş bir sistemdir (HQI web page). Tasarlanmış ve tamamlanmış konutun kalite kriterlerini Likert tipi ve “evet-hayır” sorularına yanıt veren tek başına uygulanan bir anket/değerlendirme formundan oluşmaktadır. Denetim, tasarım ve kullanım süreçlerini kapsamaktadır [35]. HQI (2007) sistemi

konut projelerinin; konum, tasarım ve performans başlıkları altında kalite kriterlerini tanımlamaktadır. Tablo 5'te gösterilen 2.,3.,4.,5.,6.,7.,8. ve 9. Kriterler tasarım kriterleri iken 10. Kriter performans kriteridir [31].

Tablo 5. HQI Değerlendirme Kriter Başlıkları (HQI, 2007)

HQI Değerlendirme Kriterleri	
1	Konum
2	Yerleşim; Görsel Etki, Alan Kullanımı/Vaziyet Planı, Peyzaj
3	Yerleşim; Açık Alan Düzenlemeleri
4	Yerleşim; Yollar ve Hareketler
5	Konut; Büyüklük
6	Konut; Plan
7	Konut; Gürültü, Aydınlatma ve Teknik Servisler
8	Konut; Erişilebilirlik
9	Konut; Enerji, Yeşil Bina ve Sürdürülebilirlik
10	Kullanım Performansı

Aşağıda sadece alt başlıkları ifade edilen kalite belirleyicileri excel formatında hazırlanmış değerlendirme formlarında detaylandırılmış ve ağırlıklandırılmıştır. Uzmanlar bu formlardaki kriterlere ağırlıkları üzerinden puan vermektedir.

1.Konum;

- Okula, ticari alanlara, parklara, sağlık merkezine, belediye, ibadet merkezlerine, kafe ve restoranlara, oyun alanlarına, toplu taşıma duraklarına yakın olmalıdır (500 m-1km).
- Yakın çevredeki atık ve endüstriye kirlilik durumu, yüksek gerilim hattı, sel riski, akarsu kirliliği bulunmamalıdır.
- Gürültü kaynaklarına yakın olunmamalıdır.

2.Çevre/Görsel Etki, Bina(Yoğunluk); Binalar belirlenmiş yoğunluk düzeylerini aşmayacak ve olumlu görsel etki yaratacak düzende planlanmalıdır.

3.Çevre/Açık Alanlar; Güvenli, yeter sayıda ve boyutta, ortak açık alanlar, çocuk oyun alanları, otoparklar düzenlenmelidir.

4.Çevre/Yollar ve Hareketler; Yollar, otopark ve yaya yolları, bina girişleri yaya hareketlerini kolaylaştıracak ve çabuk algılanacak şekilde düzenlenmelidir.

5.Ünite/Boyut; Oda sayısı ve mekansal boyutlar kullanıcı sayısına göre planlanmalı, engelli ve yaşlılar için de uygun olmalıdır.

6.Ünite/Plan; Odaların düzeni ve yapısal donatıları; güvenlik, sağlık, konfor, temizlik şartlarını sağlamalıdır.

7.Ünite/Gürültü; Teknik servis donatıları aydınlatma ve gürültü kontrolünü sağlamalıdır.

8.Ünite/Konuta Erişebilirlik ve Konut İçi Erişilebilirlik; Konuta erişim ve konut içi ulaşım, engelli ve yaşlıları da gözetken bir anlayışla, kolay ve güvenli bir şekilde sağlanmalıdır.

9.Ünite/Sürdürülebilirlik; Evsel atıklar kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmalı ve yeniden değerlendirilmelidir. Su ve toprak korunmalıdır. Enerji tüketimi ve karbon salınımı azaltılmalıdır.

10.Kullanım Performansı; Yapı ve elemanlarının dayanıklılığı, kullanım maliyeti ve geleceğe adaptasyonu, kullanıcı memnuniyet değerlendirmelerinin ölçülmesi başlıklarında incelenmektedir [31]. Kullanıcı memnuniyet değerlendirmelerinin konuları ise; obje olarak konutun edinilebilirliği ve değerinde oluşu, ev konutun ailenin ihtiyaçlarını karşılaması, tasarım kriterlerinin sağlanması, çeşitlilik, hayat tarzına ve dönemine uyumluluk/esneklik, yerel/site yönetiminden memnuniyet şeklindedir.

2.1.4. BFL (Building for Life)

2001’de Mike Gwilliam öncülüğünde CABE’nin de desteğiyle; edinilebilir ve kaliteli konutların ve komşulukların özelliklerini belirlemek üzere “Building For Life” ismiyle bir kalite değerlendirme sistemi oluşturulmuştur (BFL) [31] Uzmanlar tarafından değerlendirmeleri yapılan bu sistemin soruları Tablo 6.’da sunulmaktadır (Tablo 6).

Tablo 6. Building for Life Soruları (BFL, 2018)

Building for Life Değerlendirme Soruları	
Çevre ve Toplum	01. Okul, parklar, oyun alanları, dükkanlar, barlar veya kafeler gibi kamusal donatılar sağlıyor mu (veya yakınında var mı)?
	02. Yerel toplumun ihtiyaç ve isteklerini yansıtan bir bina programı var mı?
	03. Yerel toplumun ihtiyaçlarını yansıtan kullanım rogramı var mı?
	04. Toplu taşıma araçlarına kolay erişim var mı?
	05. Zararlı çevresel etkisini azaltan herhangi bir özelliği var mı?
Kimlik/Karakter	06. Tasarım şeması/plan özgün mü?
	07. Şema/plan mevcut binalar, manzara veya topografyadan yararlanıyor mu?
	08. Şema kendine özgü bir karaktere sahip bir yer gibi mi hissettiriyor?
	09. Binalar ve yerleşim düzeni yolunuzu bulmayı kolaylaştırıyor mu?
Sokaklar, Parklar, Yaya Yolları	10. Sokaklar iyi yapılandırılmış bir bina düzeni ile tanımlanmış mı?
	11. Bina düzeni caddelere ve otoparka öncelik veriyor mu, karayolları hakim değil mi?
	12. Otopark iyi entegre edilmiş ve yerleştirilmiş mi, bu yüzden sokak dokusunu destekliyor mu?
	13. Sokaklar yaya, bisiklet ve araç dostu mu?

Building for Life Değerlendirme Soruları	
Tasarım ve Yapım	14. Şema mevcut sokaklar, yollar ve çevredeki gelişim ile entegre mi?
	15. Kamusal alanlar ve yaya yolları görünür ve güvenli mi?
	16. Kamusal alanlar iyi tasarlanmış mı ve yerinde uygun yönetim düzenlemeleri var mı?
	17. Binalar mimari nitelik sergiliyor mu?
	18. İç mekanlar ve plan şeması, dönüşüm veya genişletme imkanı sunar mı?
	19. Şema, performans, kalite ve cazibesini artıran (inşaat veya teknolojideki) ilerlemelerden yararlandı mı?
	20. Binalar ya da mekanlar yasal zorunluluklardan daha iyi performans gösteriyor mu?

2.1.5. HQS (Housing Quality Standards)

HUD (Amerikan İmar ve Şehircilik Dairesi) konut kiralama ya da kuponla konut edinme sürecini yönetirken, konutun sahip olması gereken minimum kalite standartlarını da (HQS) tanımlamıştır. Kullanıcıların devletten yardım alabilmek için bu standartlara uyan konutları kiralamaları gerekmektedir. Kalite değerlendirmeleri yıllık olarak görevli denetçiler tarafından yapılmaktadır. Tablo 7. HQS kriterlerinin detaylandırıldığı ana konu başlıkları görülmektedir [38], (Tablo 7).

Tablo 7. HQS Değerlendirme başlıkları (HQS, 2000).

HQS Değerlendirme Başlıkları
Sıhhi İmkanlar
Gıdaların Korunması ve Bozulmasının Önlenmesi
Mekan ve Güvenlik
Isıtma
Strüktür ve Malzeme
İç Mekan Hava Kalitesi
Şebeke Suyu Temini
Kurşun Bazlı Boya Yasağı
Giriş/Erişim
Site ve Komşuluk
Sıhhi Koşullar
Duman Dedektörü

2.1.6. LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), yeşil bina sertifika sistemidir ve tüm bina tiplerini kapsar. Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından 1998 yılında inşaat sektöründe binaların tasarımında, yapımı sırasında uygulanan yöntemde ve malzemede sürdürülebilirlik ve doğaya en az zarar veren bina standartlarını belirlemek ve kontrol etmek

amacı ile geliştirilmiştir [41]. Tasarım, yapım ve kullanım süreçleri için uygulanabilir. Sürdürülebilir alan, su verimliliği, enerji ve atmosfer, malzeme ve kaynaklar, iç mekan kalitesi, konum ve bağlantılar, bilinç ve eğitim, yenilikçilik, yöresel/bölgesel öncelikler başlıkları altında kalite kriterleri tanımlanmıştır (Tablo 8) [39].

Tablo 8. LEED Sürdürülebilir Tasarım Kriterleri

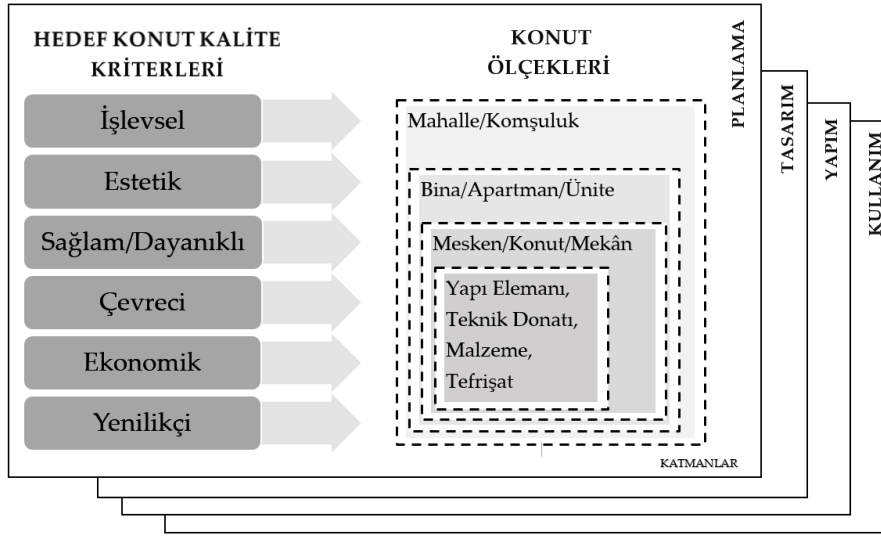
LEED Değerlendirme Kriterleri
Sürdürülebilir Alan
Su Verimliliği
Enerji ve Atmosfer
Malzeme ve Kaynaklar
Konum ve Ulaşım
İç Mekan Kalitesi
Bilinç ve Eğitim
Yenilikçilik
Bölgesel Öncelik Kredileri

3. SONUÇ: TÜRKİYE’DE (HEDEF) KONUTA YÖNELİK ÖNERİ KALİTE BELİRLEYİCİLERİ

Konut kalite belirleyicilerinin bütüncül olarak oluşturulmasında/tanımlanmasında uluslararası konut kalite değerlendirme sistemleri ağırlıklı olarak referans olmuştur. Öneri çalışma Türkiye’nin kendine özgü yasal ve kültürel koşulları ile etkileşim içinde olacaktır.

Vitruvian kriterlerin (“işlevsellik”, “estetik” ve “sağlamlık-güvenlik”), DQI esaslı tüm kalite değerlendirme sistemlerinin temelini oluşturduğu görülmektedir. Günümüzde “çevreci-sağlıklı” ve “ekonomik” ve “yenilikçi” kriterler de ön plana çıkmıştır. Teknolojik atılımlara göre bu altı temel kriter sürekli gelişmekte ve çeşitlenmektedir.

Kalite değerlendirme sistemlerinde, yukarıda sıralanan temel kriterlerin; komşuluk/mahalle ölçeğinden, ünite/apartman, mesken/konut, mekan, yapı elemanı, teknik donatı, tefriş ve malzeme ölçeğine kadar çeşitlendirilerek standartlarla detaylandırıldığı görülmektedir. Bu çalışma sonucunda tanımlanan “ana kalite belirleyicileri” de temel kalite kriterinin konut alanlarının farklı ölçeklerinde ve konut üretim sürecinin katmanlarında nasıl karşılık bulduğu üzerinden alt göstergelere çeşitlenmiştir (Şekil 3). Örneğin mevcut erişilebilir tasarım standartları, mekânı boyut olarak tanımlayan standartlar işlevsellik temel kriteri altında değerlendirilmiştir



Şekil 3. Hedef Kalite Kriterlerinin Konut Alanı Ölçeklerinde ve Yapım Süreci Katmanlarında Çeşitlenerek Kalite Belirleyicilerini Oluşturması

Şekil 3.'teki modelde hedef konut kriterleri ve konut ölçeklerinin etkileşimine göre ve referans alınan değerlendirme sistemlerinin ortak kriterlerine göre 7 adet “ana grup kalite belirleyicisi” oluşturulmuştur. Bunlar, “Konum Olanakları”, “Görsel Etki ve Erişim”, “Konut Yeri ve Planı”, “Güvenlik”, “Yapısal Kalite ve Konfor”, “Sürdürülebilirlik”, “Ekonomiklik”tir (Tablo 9). Ana kalite belirleyicileri çeşitlenip detaylanırken (göstergelere dönüşürken) hedef kriterleri karşılama bakımından çok geçişendirler (Şekil 3), (Tablo 9).

Konut kalite belirleyicilerinin sentezlenmesi sürecinde referans alınan kalite değerlendirme sistemleri (MATPUM, SÜPERKENT, DQI, BREEAM, HQM, BFL, HQS, LEED) detaylı olarak değerlendirilmiştir. Tablo 9.'da referans alınan standartta ya da kalite değerlendirme sisteminde eşdeğer karşılığı olan belirleyici “●” ile işaretlenmiştir. Alt göstergelerin tanımlanmasında ve isimlendirilmesinde ortak kriterin sıklığı belirleyici olmuştur. Ana belirleyiciler ve alt göstergeler için, referans alınan kalite değerlendirme sistemlerindekiyle eşdeğerde ve kapsayıcı isimler verilmeye çalışılmıştır. Tüm ana belirleyiciler ve alt belirleyiciler özellikle HQI ve MATPUM ile uyumu yüksek sıklıkla yakalamıştır. Ayrıca ana belirleyici ve alt göstergeler tanımlanırken yürürlükte olan İmar Mevzuatındaki standartlar gözetenmiştir (Tablo 9). Tablo 9'da ana kalite belirleyicileri ve 34 adet alt göstergesi görülmektedir. Kriterlerin oluşturulmasında tüm ölçekteki konut projelerini kapsamasına da dikkat edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Konut Alanları Öneri Kalite Belirleyicilerinin Referans Değerlendirme Sistemleriyle Eşleşme Matrisi

Konut Kalite Belirleyicileri		Referanslar									
		MATPUM	SÜPERKE	DQI	BREEAM	HQM	HQI	BFL	HQS	LEED	Sıklık
Konum Olanakları	Hizmetlere ve İmkanlara Yakınlık	●	●	●		●	●	●	●	●	8
	Yeşil Çevre, Rekreatif A. ve Yaya Yol.	●	●	●	●	●	●	●	●		8
	Altyapı Yeterliliği	●	●	●	●	●	●	●	●	●	9
	Toplu ve Alternatif Ulaşım İmkanları	●	●	●	●	●	●	●	●	●	9
	Kirlilikten Uzaklık	●	●		●	●	●	●	●	●	8
	Toplumsal Güvenlik (Suç ve Afet)	●	●	●		●	●	●	●		7

Konut Kalite Belirleyicileri		Referanslar										
		MATPUM	SUPERKE	DQI	BREAAM	HQM	HQI	BFL	HQS	LEED	Sıklık	
	Güneş ve Manzara Görme	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	9
Varlık Etkisi ve Erişim	Bina Taban Büyüklüğü ve Kat Sayısı	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	9
	Bina Cephesi ve Semte Uyum	•		•	•	•	•	•		•	•	7
	Parseldeki Çevre Düzeni ve Peyzaj	•		•	•	•	•	•	•	•	•	8
	Bina İçi ve Dışı, Yatay ve Düşey Erişim İmkanları	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	9
	Otopark Kapasitesi-Giriş Çıkışı	•	•				•	•				4
Konut Planı ve Yeri	Oda Sayısı	•		•			•	•	•	•	•	7
	Odaların Büyüklükleri ve Düzeni	•		•			•	•	•	•	•	7
	Erişilebilirlik ve Engelliler İçin Tasarım	•		•			•	•	•		•	5
	Dairenin Konumu	•		•			•	•			•	5
Güvenlik	Depreme Dayanıklılık/Sağlamlık	•		•			•	•	•			5
	Yangın Güvenliği	•		•			•	•	•	•		5
	Bina Güvenliği	•		•			•	•	•	•		6
	Sığınmağın Varlığı ve Planı			•			•	•				3
Yapısal Kalite ve Konfor	Tesisat Projesi	•		•			•	•			•	5
	Malzeme Kalitesi			•			•	•	•	•	•	6
	İşçilik Kalitesi			•			•	•	•			4
	İklimlendirme Konforu	•		•			•	•	•	•	•	7
	Aydınlatma Konforu	•					•	•	•	•		5
	Gürültü Kontrolü ve Mahremiyet	•					•	•	•			4
Sürdürülebilirlik	Su Verimliliği	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	9
	Enerji Verimliliği	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	9
	Karbon Salınımı	•	•	•	•	•	•	•	•		•	8
	Atık Yönetimi	•	•	•	•	•	•	•	•		•	8
Ekonomiklik	Yapım Maliyeti	•	•	•	•	•	•				•	7
	Teslim Süresi				•	•	•				•	4
	İşletme Maliyet	•	•		•	•	•		•	•	•	7
	Konut Değeri		•		•	•	•		•	•	•	6

“Konum Olanakları” (ana kalite) belirleyicisi grubunda yer alan alt göstergeler sırayla; her türlü kamusal hizmetin (eğitim, sağlık, idare vb.) erişilebilir yakınlıkta olması, yeşil alanların, parkların, spor alanlarının her komşuluk ünitesi için düzenlenmesi, herkes için yaya yolu düzenlemesi, tüm altyapı hizmetlerinin (yol, su, elektrik, kanalizasyon) sağlıklı olarak yerleşim alanına sunulması, toplu ve alternatif ulaşım imkanları sunulması, bisiklet yollarının düzenlenmesi, hava, su ve gürültü kirliliğinden uzak olunması, suç oranlarını düşürecek güvenli bir doku yaratılması, afet risklerinin en aza indirilmesi, konutların güneş ve manzaradan en fazla faydalanacağı yerleşim düzeninin yaratılması anlamlarını taşımaktadır. “Görsel Etki ve Erişim” ana belirleyici grubunda; yoğunluk ve kitle etkisi, kentsel dokuya uyum, yeşili önceleyen engelsiz çevre düzeni ve binaya erişim, otoparka ve bina içi bağımsız bölümlere erişim gibi alt gösterge isimleri ile Tablo 9’da ifade edilmiştir.

“Konut Planı ve Yeri” ana belirleyici grubu altında, oda sayısını, daire planını-kesitini (odaların üç boyutlu büyüklüklerini ve düzenini), tüm mekanların engelliler için tasarım koşullarını, dairenin güneşe, manzara ve rüzgra göre konumunu dikkate alan alt gösterge başlıkları tanımlanmıştır (Tablo 9).

“Güvenlik” ana belirleyici grubu altında; depreme dayanıklılığı, yangın güvenliğini, binanın istenmeyen kişilere karşı korunmasını, sivil savunma koşullarını dikkate alan alt gösterge başlıkları oluşturulmuştur (Tablo 9).

“Yapısal Kalite ve Konfor” grubu altında ise; tesisat projesinin doğruluğuna ve uygulanmasına, yapımda kullanılan malzeme kalitesine, işçilik kalitesine, iklimlendirme konforunu (ısıtma, soğutma, kuruluk) yakalamak için alınan tasarım ve uygulama önlemlerine, günüz ve gece aydınlatma konforunu sağlayacak önlemlere, mahremiyeti ve gürültü kontrolünü sağlayacak tasarım ve uygulama önlemlerine atıfta bulunmaktadır (Tablo 9).

“Sürdürülebilirlik” ana belirleyici grubu altında yer alan alt gösterge başlıkları ile yapım ve işletme sürecinde; su verimliliği ve enerji verimliliğini sağlayacak, karbon salınımını azaltacak, atık yönetimini sağlayacak önlemlerin alınmasına atıfta bulunmaktadır (Tablo 9).

Özellikle yıkılıp yeniden inşa edilecek konutlar için; “Ekonomiklik” bağlamında; yapım maliyetlerinin optimal düzeye çekilmesi, yeni konutların makul sürede inşa edilerek kat maliklerine teslimi, işletme maliyetlerinin optimizasyonu, yeni konutun mali değeri gibi hususlar kısa başlıklarla tanımlanmıştır (Tablo 9). Nitelikli konuta erişmek her insanın hakkıdır.

Yukarıda sunulan konut kalitesi belirleyicileri; memnuniyet araştırmaları, kaliteye yönelik ölçme/değerlendirme araştırmaları ve çok kriterli karar verme uygulamalarına yönelik analitik çalışmalar için gerekli kriterleri önermektedir. Ayrıca içinden geçtiğimiz kentsel dönüşüm sürecinde yeni konutun sahip olması gereken özellikleri tanımlaması bakımından da önemlidir.

Einstein’in söylediği gibi “Sorunlarımızı, onları yaratırken düşündüğümüz gibi düşünerek çözemeyiz.” [40]. Yürürlükteki kural ve yaklaşımlarla geçmişten farklı sonuçlar beklemek yerinde olmayacaktır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yönetiminde; üniversiteler, araştırma merkezleri ve idari kurumların (Belediyeler ve Valilikler/Kaymakamlıklar) düzenli olarak bir araya geldiği çalışma gruplarının oluşturulması ve konut alanlarının tasarımına ve yapımına yönelik ulusal standartların geliştirilmesi sorunlarımızın çözümünde faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] AYDIN GÖK SF. Konut Politikalarının Fiziksel Yansımaları; Kadıköy Örneği. Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Yaşam Dergisi. 2021;6(1):165-197.

[2] Wilkins M. [Internet] Wheels for the World: Henry Ford, His Company, and a Century of Progress, 1903-2003, (2004). [01 Aralık 2018 tarihinde erişilmiştir], <https://numerov.com/dspace/es/194-id.pdf>

[3] İnceoğlu M, Aytuğ A. Kentsel Mekânda Kalite Kavramı. Megaron. 2009; 4(3): 131-146.

- [4] Juran J M. Juran's Quality Control Handbook. 4th Edition, McGraw-Hill Book Co. New York; 1988.
- [5] Derbisher AB, "Fifteenth conference of the European Organization for Quality Control", Measurement Techniques, 1971;14 (6): 815-819.
- [6] Kotler P. Marketing Management, 8th Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliff, New Jersey; 1996
- [7] Crosby B. Completeness: Quality for the 21 th Century, Plume, New York; 1992.
- [8] Tekçe I. Yapımda Kalite Yönetimi Ders Notları. YTÜ. İstanbul; 2012.
- [9] Maslow. AH. Motivation and Personality. Harper & Row Publishers. New York; 1954
- [10] Kellekçi ÖL, Berköz L. "Konut ve Çevresel Kalite Memnuniyetini Yükselten Faktörler", İTÜ Dergisi/a; Mimarlık, Planlama, Tasarım, 2006; 5(2): 165-176.
- [11] Dürüşgen Ç. Mimarlık Üzerine Vitruvius. Alfa Yayıncılık. İstanbul; 2017.
- [12] Solow AA. Measuring The Quality of Urban Housing Environment: A New Appraisal Technique. The Journal of Land & Public Utility Economics. 1946;22 (3): 282-293.
- [13] Twichell AA. An Appraisal Method for Measuring The Quality Of Housing". American Sociological Review. 1948;13 (3): 278-287.
- [14] Kain JF, Quigley JM. Measuring The Value Of Housing Quality. Journal Of The American Statistical Association. 1970;65 (330):532-548.
- [15] Varady DP, Presier WFE. Scattered-Site Public Housing and Housing Satisfaction. Journal of the American Planning Association. 1998;64 (2): 89-207.
- [16] Clemente C, De Matteis F. Housing for Europe; Strategies for Quality in Urban Space, Excellence in Design, Performance in Building, URBACT, Roma.DQI, Design Quality Indicator;2010. [1 Kasım 2018 tarihinde]. <http://www.dqi.org.uk/>
- [17] Marans RW. Quality of Urban Life Studies: An Overview and Implications for Environment-Behaviour Research. Social and Behavioral Sciences, 2012;35: 9-22.
- [18] Acre F, Wyckmansa A. Spatial Quality Determinants for Residential Building Renovation: A Methodological Approach to The Development of Spatial Quality Assessment", International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 2014;5 (3): 183-204.
- [19] Choi J, Cho T. Comparing Perception Concerning the Importance of Apartment Complex Components Between Consumers and Housing Providers. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2014;13 (1): 109-116.

- [20] Kang NN, Lee, TK, Kim JT, Kim CG. Residents and Experts Perspectives for Evaluation of Importance Of Health Performance Indicators In Social Housings. *Indoor and Built Environment*. 2014; 23 (1): 150-160.
- [21] Mridha M. Living In An Apartment, *Journal Of Environmental Psychology*, 2015;43: 42-54.
- [22] Sima L. “Study On Small Apartment Design in China: Evaluation On the Impressions of and Preferences for The Floor Plans”, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2015;14 (2): 307-314.
- [23] Bennett J, Howden-Chapman P, Chisholm E, Keall M, Baker MG, Towards an Agreed Quality Standard for Rental Housing: Field Testing of a New Zealand Housing WOF Tool. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*. Australian and New Zealand Journal of Public Health. 2016;40 (5): 405-411.
- [23] Brkanić, I. Housing Quality Assessment Criteria. *Elektronički časopis građevinskog fakulteta Osijek*, 2017;8: 37-47.
- [24] Gültekin T. User Evaluation InThe Determination of Quality: Building Components In Mass-Housing. *METUJFA*. 1999;19 (1-2): 57-70.
- [25] Özsoy A. Toplu Konutlarda Kalite ve Sürdürülebilirliği, *Mimari ve Kentsel Çevrede Kalite Arayışları Sempozyumu*; 5-7 Haziran 1995, İstanbul.
- [26] Kellekçi ÖL, Berköz L. Konut ve Çevresel Kalite Memnuniyetini Yükselten Faktörler. *İTÜ Dergisi/a; Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 2006;5 (2): 165176.
- [27] Harputlugil T, Prins M, Gültekin T, Topcu İ. Conceptual Framework for Potential Implementations of Multi Criteria Decision Making (MCDM) Methods for Design Quality Assessment, Management and Innovation for a Sustainable Built Environment, 2011; 20-23 June 2011, Amsterdam, The Netherlands.
- [28] Erlalelitepe İ, Gökçen G, Kazanasmaz T. Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinde Konut Tasarımının Önemi. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. 13-16 Nisan 2011. İzmir.
- [29] OGC. Design Quality. 2004 [15 Kasım 2018 tarihinde erişildi]. <http://toolkit.creativityni.org/documents/design-quality-9.pdf>
- [30] The National Affordable Homes Agency. 721 Housing Quality Indicators (HQI) Form; 2007. [15 Kasım 2018 tarihinde erişildi]. https://www.fep.up.pt/disciplinas/PGI914/Ref_topico2/hqicompletev2.pdf
- [31] Design Council. Building for Life 12: The Sign of a Good Place to Live; 2015 [11 Kasım 2021 tarihinde erişildi]. https://www.designcouncil.org.uk/sites/default/files/asset/document/Building%20for%20Life%2012_0.pdf

- [32] İmar ve İskan Bakanlığı. Halk Konut Standartları. Şark Matbaası: Ankara;1964.
- [33] MATPUM. Toplu Konut Alanlarında Kentsel Çevresel Standartlar İçin Bir Değerler Sistemi Önerisi. TOKİ Araştırma Dizisi 5: Ankara; 2010.
- [34] Süper Kent Sistemi Projesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; 2015 [20 Eylül 2018 tarihinde erişildi]. <http://altyapi.csb.gov.tr/surdurulebilirlik-performansli-kentsel-donusum-super-kent-sistemi-projesi-haber-20704>
- [35] DQI, Design Quality Indicator;2018 [10 Eylül 2020 tarihinde erişildi]. <https://www.dqi.org.uk/perch/resources/dqi-schools-guidance-mar18.pdf>
- [36] Whyte, Gann, 2003) Whyte, J. ve Gann, D. (2003), Design Quality Indicators: Work in Progress, Building Research and Information, 31 (5): 387-398.
- [37] BREEAM International New Construction; 2016 [1 Kasım 2020 tarihinde erişildi]. https://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/#resources/output/10_pdf/a4_pdf/nc_pdf_printing/sd233_nc_int_2016_print.pdf
- [38] BRE-HQM. Home Quality Mark One; 2018 [1 Kasım 2020 tarihinde erişildi]. <https://www.homequalitymark.com/wp-content/uploads/2018/09/HQM-ONE-Technical-Manual-SD239-.pdf>
- [39] HUD, Chapter 10 Housing Quality Standards; 2019 [20 Kasım 2021 tarihinde erişildi]. <https://www.hocmc.org/images/files/HCVAdministrativePlan/s8AdminPlan-12-Ch10.pdf>
- [40] LEED V4 for Building Design and Construction; 2019 [19 Aralık 2021 tarihinde erişildi]. https://dcqpo543i2ro6.cloudfront.net/sites/default/files/file_downloads/LEED_v4.1_BD_C_Beta_Guide_1_22_19___with_requirements_final.pdf
- [41] Einstein A, Calaprice A. The Quotable Einstein, Princeton University Press: Princeton;1996.



Hibrit Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Derleme

Serhat Şap^{1*}, Ünal Değirmenci², Üsame Ali Usca³, Mahir Uzun⁴

^{1*} Bingöl Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Bingöl/Türkiye;
ssap@bingol.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5177-4952>

² Bingöl Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bingöl/Türkiye;
udegirmenci@bingol.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1480-2488>

³ Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl/Türkiye;
ausca@bingol.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5160-5526>

⁴ İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye; mahir.uzun@inonu.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0002-0907-6875>

(Alınış/Arrival: 23.11.2021, Kabul/Acceptance: 28.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Öz

Dünyanın her yerinde teknolojik gelişmelere paralel olarak kompozit malzemelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Kompozit malzemeler havacılık, otomotiv, uzay ve metal endüstrilerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler arasında bakır ana matrisli kompozit malzemeler; düşük yoğunluk, gelişmiş yorulma mukavemeti, yüksek sertlik ve yüksek özgül mukavemeti gibi üstün özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Literatürde tek bir takviye ile güçlendirilmiş kompozit malzemeler üzerine birçok araştırmalar mevcuttur. Fakat yapılan çalışmalarda kompozit malzemeleri güçlendirmede tek bir takviyenin belirli bir oranda etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu bağlamda metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha fazla geliştirilmesine yönelik olarak birden fazla takviye malzemesi kullanılmasıyla hibrit takviyeli kompozit malzemeler üretilmesi birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir. Tek bir takviye elemanına nazaran hibrit kompozitlerin daha iyi mekanik özellikler sergilediği son zamanlarda yapılan çalışmalarda açıkça görülmektedir. Literatürde hibrit kompozit malzemeler üzerine birçok araştırma mevcuttur. Bu çalışmada hibrit takviyeli bakır matrisli kompozit malzemelerin üstün özelliklerine dikkat çekmek amacıyla kapsamlı bir araştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit takviyeli kompozitler, Bakır, Mikroyapı, Mekanik özellikler

A Review on The Fabrication and Mechanical Properties of Hybrid Reinforced Copper Matrix Composites

Abstract

In parallel with technological developments all over the world, the interest in composite materials is increasing day by day. Composite materials are frequently used in the aerospace, automotive, space and metal industries. Composite materials include copper main matrix composite materials; It stands out with its superior properties such as low density, enhanced fatigue strength, high hardness and high specific strength. In the literature, there are many studies on composite materials reinforced with a single reinforcement. However, studies have shown that a single reinforcement has a certain effect on reinforcing composite materials. In this context, the fabrication of hybrid reinforced composite materials by using more than single reinforcement material in order to further improve the mechanical properties of metal matrix composites attracts the attention of many researchers. It has been clearly seen in recent studies

that hybrid composites exhibit better mechanical properties compared to a single reinforcement element. There are many studies on hybrid composite materials in the literature. In this study, a comprehensive research was carried out to draw attention to the superior properties of hybrid reinforced copper matrix composite materials.

Keywords: Hybrid reinforced composites, Copper, Microstructure, Mechanical properties

1. GİRİŞ

Metal matrisli kompozit malzemeler bir ana matris ile bir ya da birden fazla takviye malzemesinden oluşan bir üründür [1-3]. Oluşturulan bu malzemenin özellikleri ilave edilen takviyenin şekline, boyutuna ve hacmine büyük oranda bağlıdır. Metal matrisli kompozitler geleneksel yöntemlerle imal edilen alaşımlardan daha iyi iletkenlik ve dayanım özellikleri sunabilmektedir [4-7]. Avantajları açısından değerlendirildiğinde, kompozit malzemelerin küresel pazarda önemli bir yere sahip olması beklenmektedir [8]. Yüksek mukavemet, aşınma, korozyon direnci, yüksek termal direnç ve üstün kırılma tokluğu gibi üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde endüstrinin çeşitli alanlarında kompozit malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır [9-11]. Metal matrisli kompozit malzemeler geçmişten bugüne kadar birçok araştırma ve uygulama alanlarında önemli bir yere sahip olmakla birlikte havacılık, otomotiv ve savunma sanayisinde sıklıkla kullanılmaktadır [12, 13]. Metal matrisli kompozit malzemeleri diğer malzemelerden ayıran en önemli özelliği farklı ihtiyaçlara göre istenilen özellikte ürünlerin elde edilebilmesidir [14, 15]. Bu üstün özelliklerinden dolayı metal matrisli kompozit malzemeler geleneksel malzemelere göre daha fazla tercih edilmektedir [16].

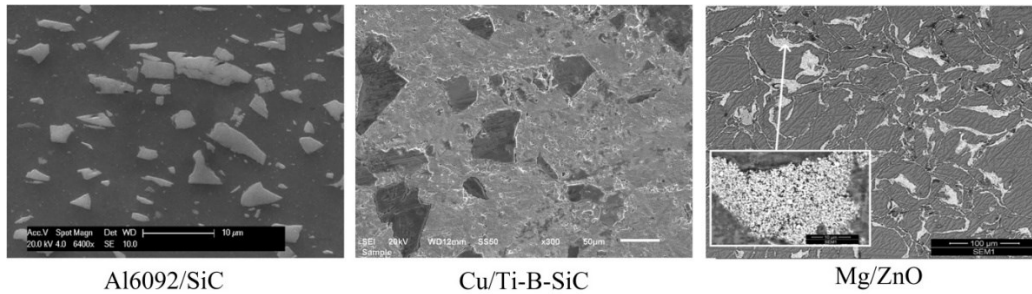
Metal matrisli kompozit malzemeler içerisinde bakır matrisli kompozitler son yıllarda daha popüler olmaktadır. Saf bakır düşük mukavemeti ve çok iyi olmayan fiziksel özellikleri ile tek başına uygulamalarda kullanılamamaktadır [17, 18]. Saf bakıra bir ya da birden fazla takviye malzemesinin ilave edilmesiyle ana matrisin termal ve iletkenlik özelliklerinde çok büyük değişiklikler olmadan, yüksek sıcaklıklarda bile mekanik ve fiziksel özelliklerin kayda değer şekilde iyileştirilebilmektedir [19-21]. Daha iyi mekanik özelliklere sahip malzemelerin korozyon dirençleri de aynı oranda arttığı için uygulama alanlarında daha fazla kabul görmektedir [22-25]. Bakır matrisli kompozit malzemeler aynı zamanda fren disklerinde, elektrik kontaklarında, elektrotlarda, elektronik malzeme yapımında, rulmanlarda, kesici aletlerde ve yüksek performans gerektiren yapısal uygulama alanlarında da kullanılmaktadır [26]. Tüm bu kullanımlarının yanı sıra yüksek özgül mukavemeti nedeniyle bakır matrisli kompozitler her geçen gün daha fazla tercih edilmektedir.

Hibrit kompozit malzemeler, yüksek mukavemet/ağırlık oranı sayesinde daha popüler olabilmektedir [27-31]. Hibrit kompozitler iki ya da daha fazla güçlendirme oranına sahip malzemelerdir [32]. Sertlik ve aşınma direnci yüksek olan güçlendirme elemanları (B_4C , Al_2O_3 , SiC , TiB_2 , ve WC) takviye olarak kullanılabilir [33, 34]. Hibrit kompozitler, tek takviyeli kompozit malzemelere alternatif olarak geliştirilmiştir. Farklı tasarım ihtiyaçlarını geleneksel kompozitlere nazaran daha mükemmel bir şekilde karşılayabilen hibrit kompozitler benzersiz özelliklere sahiptirler [35].

Bu çalışmada, metal matrisli kompozit malzemeler hakkında detaylı bilgiler verilmiş ve tek takviyeli kompozit malzemelere göre hibrit kompozitlerin daha üstün özellikler sergilediğinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Çalışmamızda ayrıca hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinden ayrıntılı olarak bahsedilmiş ve gelecekte yapılacak olan çalışmalara rehber olacağı düşünülmektedir.

2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

Birçok pozitif özelliği sayesinde öne çıkan kompozit malzemeler endüstride çeşitli alanlarda tercih edilmektedir. Ana matrislerine göre gruplandırılan birkaç çeşit kompozit malzeme türü bulunmaktadır. Bunlardan biri de metal matrisli kompozitlerdir. Kompozit malzemelerde matris olarak kullanılan yapının amacı takviye liflerini ya da partiküllerini istenen form ve boyutlarda şekillendirmek suretiyle bir malzeme ile birleştirmek ve aynı zamanda matris üzerine gelebilecek yükleri tüm malzeme üzerine orantılı bir şekilde dağıtmaktır [36]. Aynı zamanda matris yapı, takviye elemanlarını dış etkilerden korumaktadır. Matrisin amacına uygun bir şekilde gerekli teknolojik özelliklere sahip takviye elemanları seçilmelidir [37]. Ana matrise göre seçilebilen birkaç malzeme gurubu bulunmaktadır. Bunlar Al (Alüminyum), Cu (Bakır), Mg (Magnezyum), Ni (Nikel), Bi (Bizmut), Fe (Demir) gibi malzemelerden oluşmaktadır. Şekil 1’de farklı ana matrislere sahip SEM (Scanning Electron Microscope) fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 1. Farklı ana matrislere sahip kompozitlerin SEM fotoğrafları [38-40].

2.1. Bakır Matrisli Kompozit Malzemeler

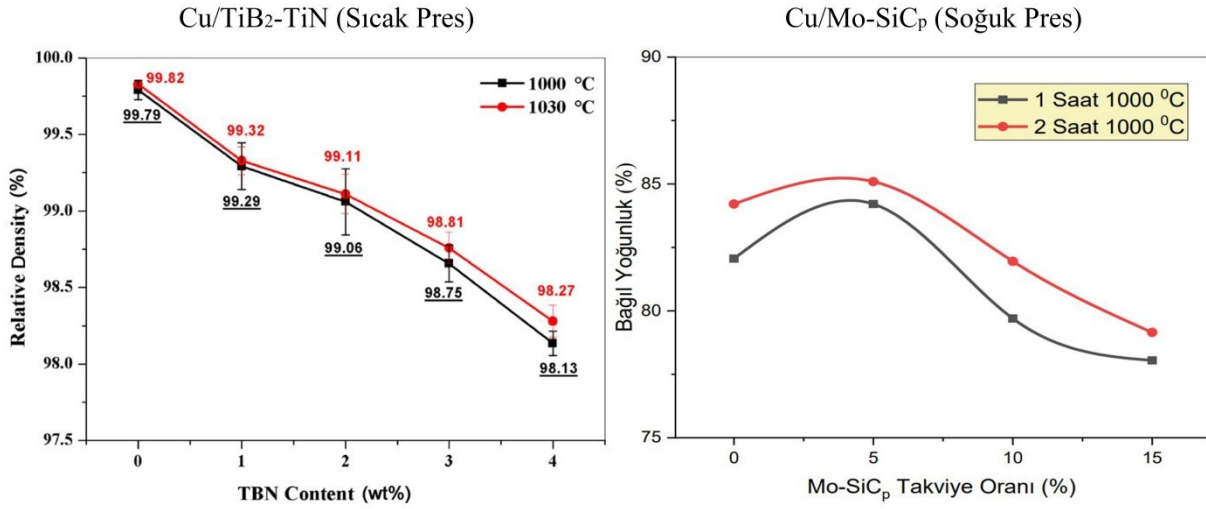
Bakır saf veya diğer metallerle güçlendirilmiş halde olsa bile çok yaygın kullanılması sebebiyle önemli bir mühendislik malzemesidir [41]. Güçlendirilmemiş halde bile mükemmel özelliklere sahip bir malzemedir. Üstün iletkenlik özelliği sayesinde elektrik endüstrisinde vazgeçilmez bir ürün olarak bilinmektedir. Tablo 1’de saf metallerin bazı özellikleri görülmektedir.

Tablo 1. Saf metallerin ısı ve elektrik iletkenlikleri tablosu [42].

Metal	Elektriksel iletkenlik ($\Omega.m$) ⁻¹	Isıl İletkenlik W.(m.K) ⁻¹
Gümüş	106	108
Bakır	100	100
Altın	72	76
Alüminyum	62	56
Magnezyum	39	41
Çinko	29	29
Nikel	25	15
Kadmiyum	23	24
Kobalt	18	17
Demir	17	17
Çelik	13-17	13-17
Platinyum	16	18
Kalay	15	17
Kurşun	8	9

Bakır matrisli kompozit malzemeler iki farklı yöntem ile üretilebilmektedir. Bunlardan birincisi soğuk pres yöntemidir. Bu yöntemde tozlar mekanik olarak karıştırıldıktan sonra belirli bir

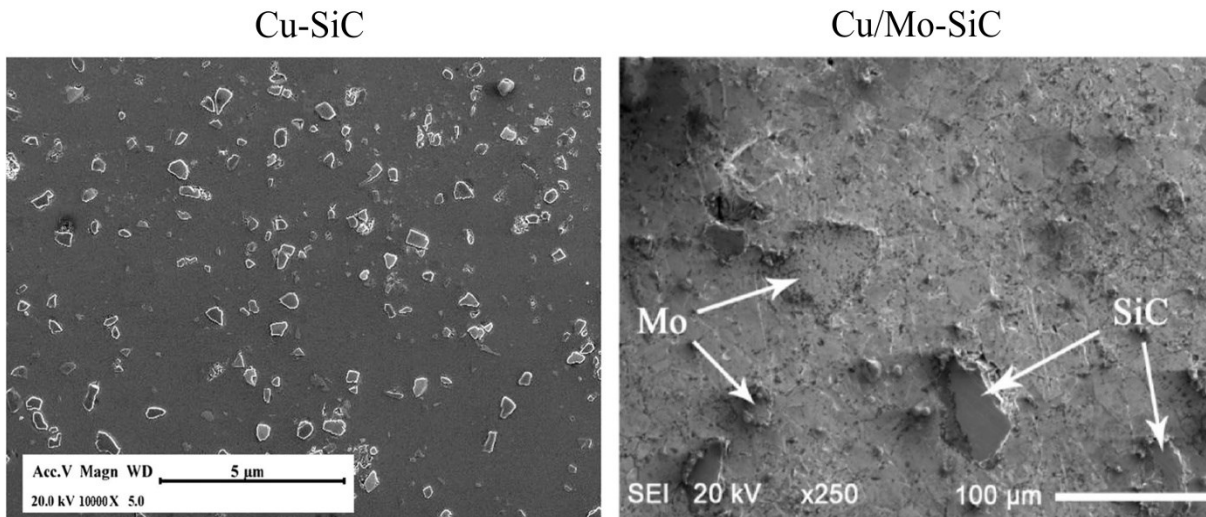
basınç altında bir kalıpta şekillendirilerek sinterlemeye hazır hale getirilir. Daha sonra matris malzemesinin erime sıcaklığının altında bir sıcaklık seçilerek sinterleme işlemi yapılmaktadır. Sıcak presleme yönteminde ise karıştırılan tozlar özel bir fırında belirlenen sıcaklık uygulanırken presleme işlemi gerçekleştirilir. Sıcak pres yöntemiyle üretilen kompozitlerin yoğunlukları soğuk pres ile üretilen kompozitlerden daha yüksek olabilmektedir. Şekil 2’de iki farklı yöntemle üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk grafikleri görülmektedir.



Şekil 2. Sıcak ve soğuk presleme yöntemiyle üretilen bakır kompozitlerin bağlı yoğunluk grafikleri [43, 44].

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi sıcak pres yöntemiyle üretilen bakır kompozitleri çok yüksek bağlı yoğunluklara ulaşabilmektedir. Sıcak presleme yönteminde şekillendirme ve sinterleme basamakları aynı anda yapıldığı için oldukça yüksek yoğunluklar elde edilebilmektedir.

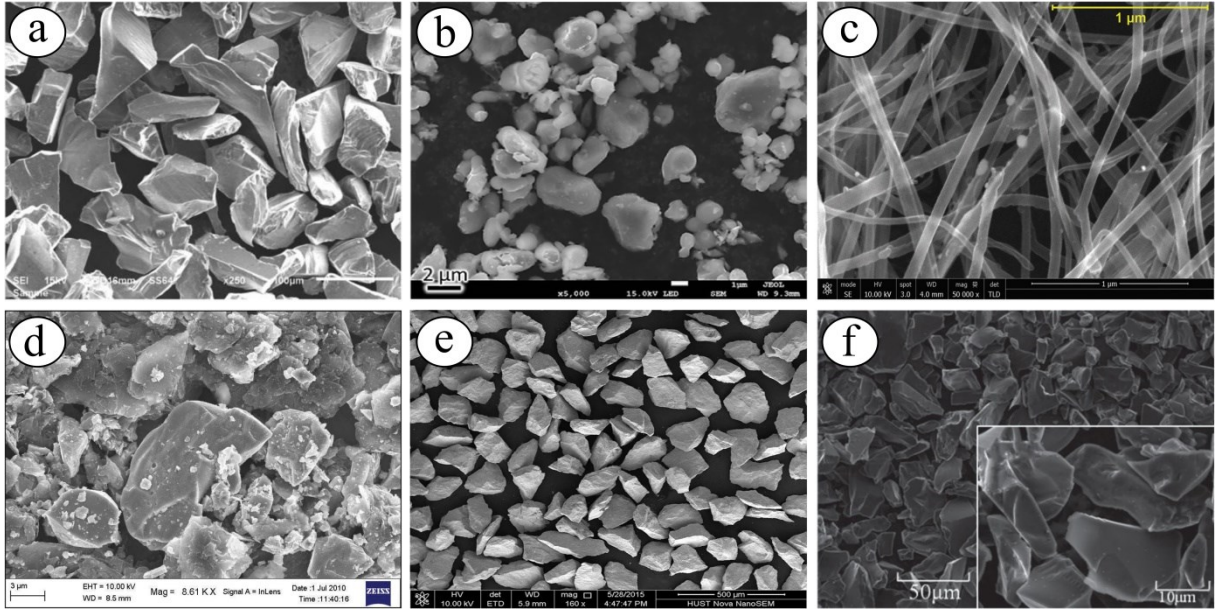
Şekil 3’te bakır ana matris içerisine ilave edilen tek ve hibrit takviyeli kompozitlerin SEM fotoğrafları görülmektedir. Matris yapı içerisinde gömülü halde bulunan takviye elemanları (SiC ve Mo) net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3. Bakır ana matris içerisine ilave edilen tek ve hibrit takviyeli kompozitlerin SEM görüntüleri [45, 46].

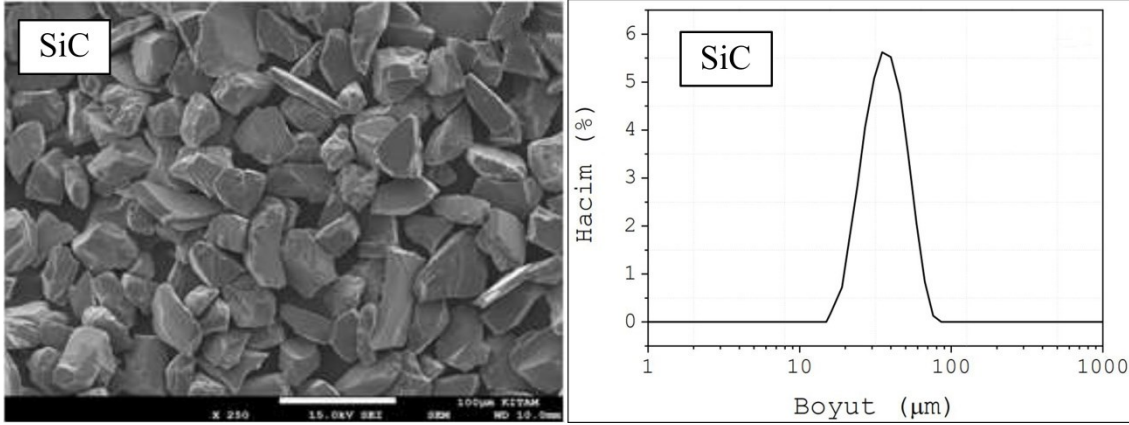
3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KULLANILAN HİBRİT TAKVİYELER

Metal matrisli kompozit malzemelerde matris fazını güçlendirmek amacıyla birçok takviye malzemesi kullanılmaktadır. Bunlar; SiC (silisyum karbür), TiC (titanyum karbür), Ti₂B (titanyum diborür), WC (tungsten karbür), Al₂O₃ (alüminyum oksit), B₄C (bor karbür), Z₂B (zirkonyum diborür), TaC (tanatal karbür) ve KNT (karbon nanotüp, CNT) olarak sıralanabilir. Bu malzemeler yapı itibarıyla birbirinden farklı türde olabilmektedir. Takviye malzemesi olarak kullanılan toz partiküllerinin boyutu ve geometrik yapısı matris yapının mukavemeti açısından oldukça önem arz etmektedir [47]. Hassan ve Gupta [48] yaptıkları bir çalışmada Mg bazlı kompozitlere hacimce % 1,1 Al₂O₃ partikül takviyelerini üç farklı boyutta (50 nm, 0,3 µm, 1,0 µm) ilave ederek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Deneyler sonucunda Al₂O₃ takviye partikülünün boyutunun azaldıkça mekanik özelliklerin arttığını tespit etmişlerdir. Keskin ve köşeli forma sahip takviye malzemelerinin matris içerisinde tutunması daha kolay olabilmektedir. Farklı geometrik şekillere sahip olan takviye malzemelerinin bazılarında ait SEM fotoğrafları Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Takviye tozları; a) SiC [49], b) TiB₂ [50], c) CNT [51], d) TiC [52], e) WC [53], f) B₄C [54].

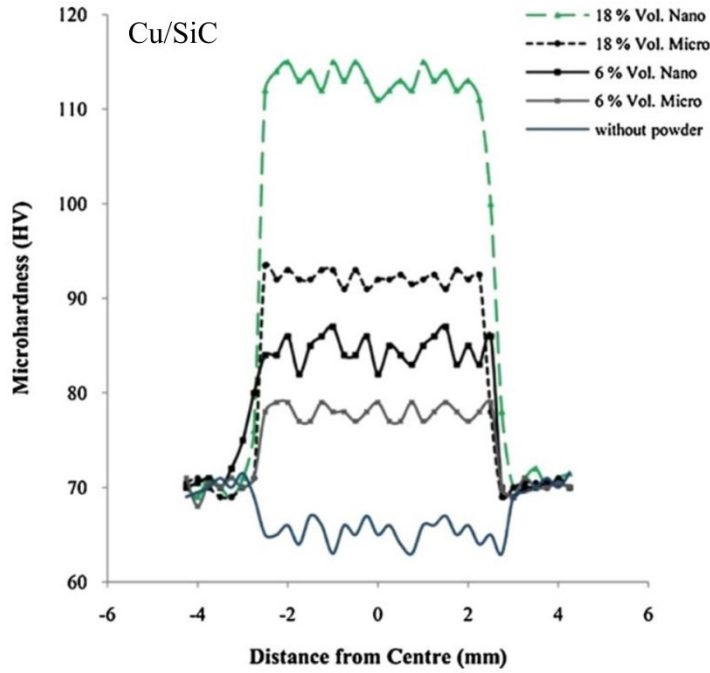
Kompozit malzeme üretimi sırasında takviye elemanları, matris yapı içerisine nüfuz edebilmeli, ana matris ile bir bağ oluşturabilmeli ve matris yapı malzemesi tarafından ıslatılabilmelidir [55]. Matris yapı, takviye elemanlarını sarmak suretiyle bir arada tutabilmeli ve mümkün olan en kısa süre içerisinde katılaşmayı sağlayabilmelidir [56]. Takviye elemanları genel olarak sert bir yapıya sahip olmaları sebebiyle kırılğan ve gevrek olabilmektedir [57]. Matris yapı, takviye elemanlarının yüzeylerini çevresel etkenlere karşı koruyarak dirençlerini en üst seviyeye çıkarabilmektedir [58]. Şenel vd. [59] yaptıkları bir çalışmada SiC toz partiküllerinin SEM ve tane boyutlarını belirlemişlerdir (Şekil 5).



Şekil 5. SiC toz partikülünün SEM görüntüsü ve tane boyut grafiği [59].

4. BAKIR MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Metal matrisli kompozit malzemelerde mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla sertlik, aşınma, çekme, üç nokta eğme, darbe, kırılma ve yorulma gibi birçok deney yapılabilmektedir. Yapılan mekanik deneyler sonucunda üretilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri hakkında detaylı bilgilere ulaşmak mümkün olabilmektedir. Barmouz vd. [26] yaptıkları bir çalışmada bakır ana matris içerisine tek takviye elemanı olarak SiC ilave ederek Cu/SiC kompozitleri üretmişlerdir. Yaptıkları sertlik deneyi sonucunda en yüksek sertlik değerinin ortalama 115 HV olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 6).



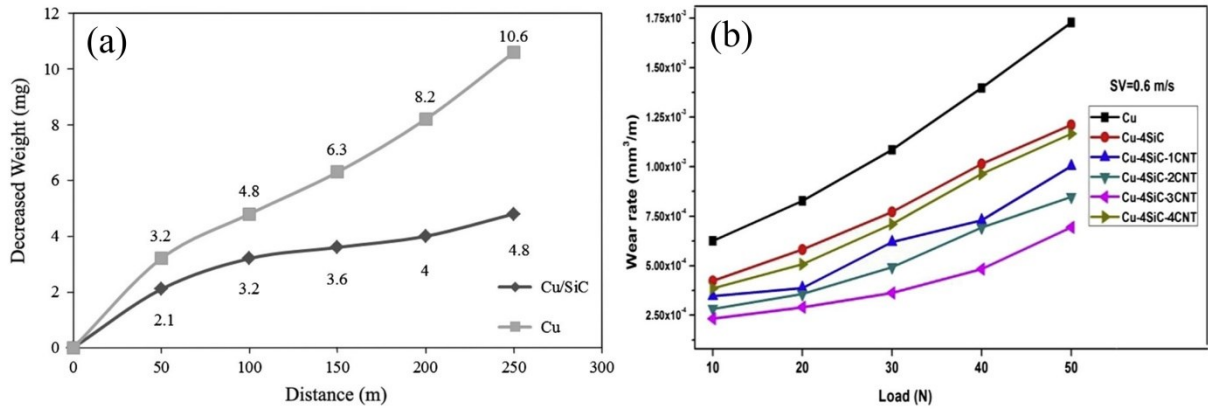
Şekil 6. Cu/SiC kompozitlerinin mikrosertlik grafiği [26].

Mallikarjuna vd. [60] yaptıkları bir çalışmada ise bakır ana matrisi içerisine belirli oranlarda SiC-CNT takviye elemanları ilave ederek Cu/4SiC-xCNT kompozitlerini üretmişlerdir. Sertlik deneyi sonuçlarına göre en yüksek sertlik değerinin 175 HV olduğunu tespit etmişlerdir (Tablo 2). Buradan yola çıkarak hibrit takviyeli kompozitlerin daha iyi sertlik sonuçları verdiği söylenebilir.

Tablo 2. Cu/4SiC-xCNT kompozitlerinin sertlik deneyi sonuçları [60].

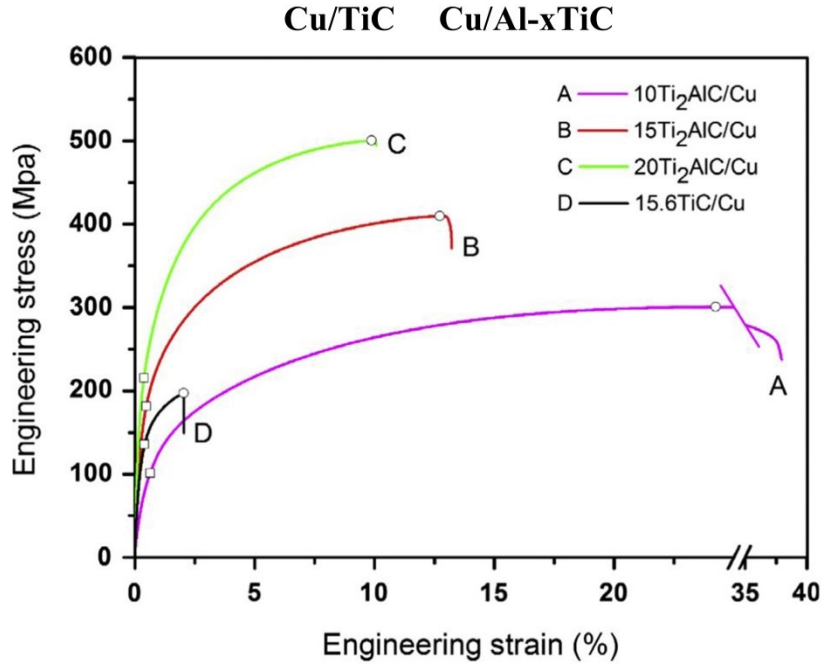
Sl. No.	Materials	Vickers microhardness (VH)	Nanoindentation hardness (GPa)
1	Copper	94 ± 4	0.96 ± 0.08
2	Cu-4SiC	131 ± 5	1.34 ± 0.08
3	Cu-4SiC-1CNTs	142 ± 4	1.53 ± 0.1
4	Cu-4SiC-2CNTs	161 ± 5	1.73 ± 0.1
5	Cu-4SiC-3CNTs	175 ± 3	1.86 ± 0.1
6	Cu-4SiC-4CNTs	158 ± 5	1.61 ± 0.1

Şekil 7’de sırasıyla Cu/SiC ve Cu/4SiC-xCNT kompozitlerinin aşınma testi sonuçlarına ait ağırlık kaybı ve aşınma oranı grafikleri görülmektedir. Cu/SiC kompozitlerinin ağırlık kaybı grafiğinde aşınma mesafesi arttıkça SiC takviyesi içeren numunelerin aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir [61]. Cu/4SiC-xCNT kompozitlerinde uygulanan yükün artmasıyla birlikte SiC-CNT içeren numunelerde aşınma direncinin daha fazla olduğu görülmektedir [60].



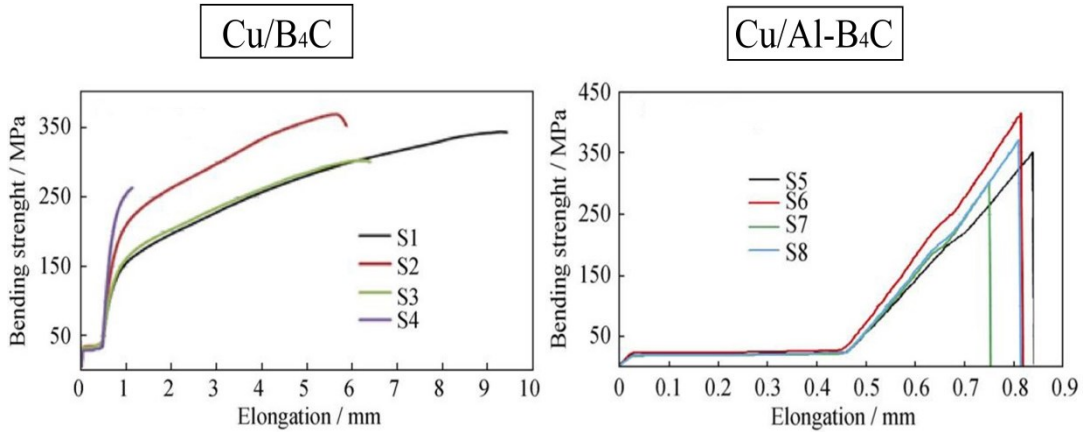
Şekil 7. Cu ana matrisli kompozitlerin ağırlık kaybı grafikleri; a) Cu/SiC [61], b) Cu/4SiC-xCNT [60].

Li vd. [62] yaptıkları bir çalışmada bakır içerisine ilk önce TiC daha sonra Al-TiC ilave ederek tek ve hibrit takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin çekme gerilme deneyi neticesinde, tek takviyeli kompozit numunesine nazaran hibrit takviyeli numunelerde çekme mukavemetinin çok daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. En yüksek çekme mukavemetinin 498 MPa ile Cu/Al-0.5TiC kompozitinde görüldüğünü rapor etmişlerdir. Cu/TiC ve Cu/Al-xTiC kompozitlerinin çekme gerilme grafiği Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Cu/TiC ve Cu/Al-xTiC kompozitlerinin çekme gerilme diyagramı [62].

Balalan and Gulan [63], bakır içerisine önce B₄C toz partikülleri daha sonra Al toz partikülleri ilave ederek sıcak pres yöntemiyle kompozit malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozit numunelere eğilme deneyi uygulayarak tek ve hibrit takviyeli kompozit malzemeleri kıyaslamışlardır. Elde ettikleri eğilme deneyi sonuçlarına göre bakır içerisine ilave edilen tek takviyeli kompozitlere nazaran hibrit takviyeli kompozitlerin eğilme mukavemetlerinin daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. En yüksek eğilme mukavemetinin 415.16 N.mm⁻² olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir [63]. Cu/B₄C ve Cu/Al-B₄C kompozit numunelerine ait üç nokta eğilme deneyi sonuçlarını gösteren grafikler Şekil 9’da görülmektedir. Buradan yola çıkarak tek takviyeli kompozit numunelere nazaran hibrit takviyeli kompozitlerin eğilme mukavemetlerinin daha yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 9. Cu/B₄C ve Cu/Al-B₄C kompozitlerinin üç nokta eğilme deneyi sonuçlarını gösteren grafikler [63].

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada, bakır ana matrisli kompozitlerin üretimi ve mekanik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tek takviyeli bakır kompozitler ile hibrit takviyeli kompozit malzemeler detaylı bir literatür araştırması yapılarak karşılaştırmalı olarak kıyaslanmıştır. Birçok bakır

kompozitlerin sertlik, aşınma, çekme ve üç nokta eğilme deneylerinde elde edilen mekanik özellikler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde hibrit takviyeli bakır kompozitlerin, tek bir takviye ile elde edilen bakır kompozitlerine göre daha üstün mekanik özellikler sergilediği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Uzun M, Munis MM, Usca ÜA. Different ratios CrC particle-reinforced Cu matrix composite materials and investigation of wear performance. *Int J Eng Res Appl.* 2018;8(7):1-7.
- [2] Usca ÜA, Uzun M, Kuntoğlu M, Şap S, Giasin K, Pimenov DY. Tribological Aspects, Optimization and Analysis of Cu-B-CrC Composites Fabricated by Powder Metallurgy. *Materials.* 2021;14(15):4217.
- [3] Şap S, Uzun M, Usca ÜA, Pimenov DY, Giasin K, Wojciechowski S. Investigation on microstructure, mechanical, and tribological performance of Cu base hybrid composite materials. *J Mater Res Technol.* 2021;15:6990-7003.
- [4] Sap E. Microstructural and Mechanical Properties of Cu-Based Co-Mo-Reinforced Composites Produced by the Powder Metallurgy Method. *J Mater Eng Perform.* 2020;29(12):8461-72.
- [5] Uzun M, Çetin MS. Investigation of characteristics of Cu based, Co-CrC reinforced composites produced by powder metallurgy method. *Adv Powder Technol.* 2021;32(6):1992-2003.
- [6] Akbarpour M, Salahi E, Hesari FA, Yoon E, Kim H, Simchi A. Microstructural development and mechanical properties of nanostructured copper reinforced with SiC nanoparticles. *Mater Sci Eng A.* 2013;568:33-9.
- [7] Uzun M, Münis MM, Usca ÜA. Farklı oranlarda CrC partikül takviyesi kullanılarak toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Cu matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 2018;22(2):495-501.
- [8] Kilic M, Imak A, Kirik I. Surface Modification of AISI 304 Stainless Steel with NiBSi-SiC Composite by TIG Method. *J Mater Eng Perform.* 2021;30:1411-9.
- [9] Usca ÜA, Uzun M, Kuntoğlu M, Sap E, Gupta MK. Investigations on tool wear, surface roughness, cutting temperature, and chip formation in machining of Cu-B-CrC composites. *Int J Adv Manuf Technol.* 2021;116(9):3011-25.
- [10] Uzun M, Usca UA. Effect of Cr particulate reinforcements in different ratios on wear performance and mechanical properties of Cu matrix composites. *J Braz Soc Mech Sci & Eng.* 2018;40(4):197.
- [11] Sap E. Microstructure and Mechanical Effects of Co-Ti Powder Particles on Cu Matrix Composites. *Russ J Non-ferrous Metals.* 2021;62(1):107-18.
- [12] Jamwal A, Seth PP, Kumar D, Agrawal R, Sadasivuni KK, Gupta P. Microstructural, tribological and compression behaviour of Copper matrix reinforced with Graphite-SiC hybrid composites. *Mater Chem Phys.* 2020;251:123090.
- [13] Usca ÜA, Uzun M, Sap S, Kuntoğlu M, Giasin K, Pimenov DY, et al. Tool wear, surface roughness, cutting temperature and chips morphology evaluation of Al/TiN coated carbide cutting tools in milling of Cu-B-CrC based ceramic matrix composites. *J Mater Res Technol.* 2021:1-35.
- [14] Jha P, Gautam RK, Tyagi R. Friction and wear behavior of Cu-4wt.%Ni-TiC composites under dry sliding conditions. *Friction.* 2017;5(4):437-46.
- [15] Şap E, Usca ÜA, Gupta MK, Kuntoğlu M, Sarıkaya M, Pimenov DY, et al. Parametric Optimization for Improving the Machining Process of Cu/Mo-SiC_p Composites Produced by Powder Metallurgy. *Materials.* 2021;14(8):1921.

- [16] Chen X, Bao R, Yi J, Fang D, Tao J, Li F. Enhancing mechanical properties of pure copper-based materials with Cr_xO_y nanoparticles and CNT hybrid reinforcement. *J Mater Sci.* 2021;56(4):3062-77.
- [17] Chmielewski M, Nosewicz S, Wyszowska E, Kurpaska Ł, Strojny-Nędzka A, Piątkowska A, et al. Analysis of the micromechanical properties of copper-silicon carbide composites using nanoindentation measurements. *Ceram Int.* 2019;45(7):9164-73.
- [18] Uzun M, Usca ÜA. Farklı oranlarda Cr partikül takviyesinin Cu matrislikompozitlerin mekanik özelliklerine ve mikroyapısına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi.* 2017;8(4):797-803.
- [19] Çelik E, Aslan AK. The effect of porosity and Cu rate on microstructure and mechanical properties of Co alternative powder metallurgy compound. *Sci Sinter.* 2017;49(3):225-34.
- [20] Cui G, Ren J, Lu Z. The Microstructure and Wear Characteristics of Cu-Fe Matrix Friction Material with Addition of SiC. *Tribol Lett.* 2017;65(3):108.
- [21] Islak S, Çalgülü U, Hraam HRH, Özorak C, Koç V. Electrical conductivity, microstructure and wear properties of Cu-Mo coatings. *Res Eng Struct Mater.* 2019;5(2).
- [22] Bai GZ, Li N, Wang XT, Wang JG, Kim MJ, Zhang HL. High thermal conductivity of Cu-B/diamond composites prepared by gas pressure infiltration. *J Alloys Compd.* 2018;735:1648-53.
- [23] Şap S, Şap E, Kırık İ. Biyomalzeme Olarak Kullanılan Mühendislik Ürünleri. III. Uluslararası Battalgazi Bilimsel Çalışmalar Kongresi; 2019; Malatya; s. 200-207.
- [24] Şap S, Şap E, Kırık İ. Titanyum ve Alaşımlarının Biyomalzeme Olarak Kullanılması. III Uluslararası Battalgazi Bilimsel Çalışmalar Kongresi; 2019;Malatya; s. 1052-1059.
- [25] Şap S. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Titanyumun Biyomedikal Uygulamalarda Kullanımı. I. Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi; 2019; Malatya; s. 385-392.
- [26] Barmouz M, Asadi P, Besharati Givi MK, Taherishargh M. Investigation of mechanical properties of Cu/SiC composite fabricated by FSP: Effect of SiC particles size and volume fraction. *Mater Sci Eng A.* 2011;528(3):1740-9.
- [27] Cao F, Dong G, Jiang Y, Xiao P, Wang T, Liang S. Effect of La addition on microstructures and properties of $(\text{TiB}_2\text{-TiB})/\text{Cu}$ hybrid composites prepared by in situ reaction. *Mater Sci Eng A.* 2020;789:139605.
- [28] Jamwal A, Prakash P, Kumar D, Singh N, Sadasivuni KK, Harshit K, et al. Microstructure, wear and corrosion characteristics of Cu matrix reinforced SiC-graphite hybrid composites. *J Compos Mater.* 2019;53(18):2545-53.
- [29] Kannan A, Mohan R, Viswanathan R, Sivashankar N. Experimental investigation on surface roughness, tool wear and cutting force in turning of hybrid $(\text{Al7075}+\text{SiC}+\text{Gr})$ metal matrix composites. *J Mater Res Technol.* 2020;9(6):16529-40.
- [30] Karthik K, Rajamani D, Manimaran A, Prakash JU. Wear behaviour of hybrid polymer matrix composites using Taguchi technique. *Mater Today Proc.* 2020;33(7):3186-90.
- [31] Degirmenci U, Kirca M. Design and mechanical characterization of a novel carbon-based hybrid foam: A molecular dynamics study. *Computational Materials Science.* 2018;154:122-31.
- [32] Şap S, Şap E. Döküm Yöntemiyle Üretilen Co Esaslı Cr-Mo Alaşımlarının Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi; 2018; Gaziantep; s. 1067.

- [33] Long F, Guo X, Song K, Jia S, Yakubov V, Li S, et al. Synergistic strengthening effect of carbon nanotubes (CNTs) and titanium diboride (TiB₂) microparticles on mechanical properties of copper matrix composites. *J Mater Res Technol.* 2020; 9(4):7989-8000.
- [34] Mittal P, Paswan MK, Sadasivuni KK, Gupta P. Structural, wear and thermal behaviour of Cu-Al₂O₃-graphite hybrid metal matrix composites. *Proc Inst Mech Eng L.* 2020;234(8):1154-64.
- [35] Degirmenci U, Erturk AS, Yurtalan MB, Kirca M. Tensile behavior of nanoporous polyethylene reinforced with carbon-based nanostructures. *Computational Materials Science.* 2021;186:109971.
- [36] Naghikhani M, Ardestani M, Moazami-Goudarzi M. Microstructure, Mechanical Properties and Wear Performance of WC/Brass Composites Produced by Pressureless and Spark Plasma Sintering Processes. *Met Mater Int.* 2019;27:1639-48.
- [37] Natrayan L, Kumar MS. Influence of silicon carbide on tribological behaviour of AA2024/Al₂O₃/SiC/Gr hybrid metal matrix squeeze cast composite using Taguchi technique. *Mater Res Express.* 2020;6(12):1265f9.
- [38] Gatea S, Ou H, McCartney G. Deformation and fracture characteristics of Al6092/SiC/17.5p metal matrix composite sheets due to heat treatments. *Mater Charact.* 2018;142:365-76.
- [39] Şap S, Turgut A, Uzun M. Investigation of microstructure and mechanical properties of Cu/Ti-B-SiC_p hybrid composites. *Ceram Int.* 2021;47(21):29919-29.
- [40] Lei T, Tang W, Cai S-H, Feng F-F, Li N-F. On the corrosion behaviour of newly developed biodegradable Mg-based metal matrix composites produced by in situ reaction. *Corrosion Science.* 2012;54:270-7.
- [41] Nautiyal H, Kumari S, Khatri OP, Tyagi R. Copper matrix composites reinforced by rGO-MoS₂ hybrid: Strengthening effect to enhancement of tribological properties. *Compos Part B-Eng.* 2019;173:106931.
- [42] Erdoğan M. Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım; 2001. s. 602.
- [43] Jinwei Yin PZ, Hanqin Liang, Dongxu Yao, Yongfeng Xia, Kaihui Zuo, YuPing Zeng. Microstructure and Mechanical Properties of Cu Matrix Composites Reinforced by TiB₂/TiN Ceramic Reinforcements. *Acta Metall Sin.* 2020;33(12):1609-17.
- [44] Şap E. Güçlendirilmiş Bakır Esaslı Kompozit Malzemelerin Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 2021;11(1):590-8.
- [45] Abd El Aal MI. Effect of high-pressure torsion processing on the microstructure evolution and mechanical properties of consolidated micro size Cu and Cu-SiC powders. *Adv Powder Technol.* 2017;28(9):2135-50.
- [46] Şap E. Investigation of mechanical properties of Cu/Mo-SiC_p composites produced with P/M, and their wear behaviour with the Taguchi method. *Ceram Int.* 2021;47(18):25910-20.
- [47] Şap S. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Sinterlenen Sert Metallerin Üretimi ve Mekanik Özellikleri. 1 Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi; 2019; Malatya: İzdaş; s. 393-400.
- [48] Hassan SF, Gupta M. Effect of particulate size of Al₂O₃ reinforcement on microstructure and mechanical behavior of solidification processed elemental Mg. *J Alloys Compd.* 2006;419(1):84-90.
- [49] Şap E, Usca UA, Gupta MK, Kuntoğlu M. Tool wear and machinability investigations in dry turning of Cu/Mo-SiC_p hybrid composites. *Int J Adv Manuf Technol.* 2021;114(1):379-96.
- [50] Bahador A, Umeda J, Yamanoglu R, Ghandvar H, Issariyapat A, Abu Bakar TA, et al. Deformation mechanism and enhanced properties of Cu-TiB₂ composites evaluated by

- the in-situ tensile test and microstructure characterization. *J Alloys Compd.* 2020;847:156555.
- [51] Milowska KZ, Burda M, Wolanicka L, Bristowe PD, Koziol KKK. Carbon nanotube functionalization as a route to enhancing the electrical and mechanical properties of Cu–CNT composites. *Nanoscale.* 2019;11(1):145-57.
- [52] Mohapatra S, Mantry S, Singh SK. Performance Evaluation of Glass-Epoxy-TiC Hybrid Composites Using Design of Experiment. *Journal of Composites.* 2014;2014:670659.
- [53] Liu J, Yang S, Liu K, Gui C, Xia W. Effect of Age-Hardening Treatment on Microstructure and Sliding Wear-Resistance Performance of WC/Cu-Ni-Mn Composite Coatings. *Metall Mater Trans A.* 2017;48(6):3017-26.
- [54] Chen H-s, Zhang Y-y, Nie H-h, Wang J-f, Wang W-x, Zhou J, et al. The microstructure and mechanical properties of the B₄C/Cu matrix composite fabricated by SPS-HR. *Mater Sci Technol.* 2018;34(12):1460-7.
- [55] Özgün Ö, Bulut C. A novel mixing method for powder metallurgy copper-carbon nanotube composites. *Materwiss Werksttech.* 2020;51(7):982-91.
- [56] Şap S, Şap E. Co Bazlı İmplant Malzemelere Ti Ve Mn İlavesinin Etkisi. III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi; 2018; Gaziantep; s. 1066.
- [57] Prosviryakov A. SiC content effect on the properties of Cu–SiC composites produced by mechanical alloying. *J Alloys Compd.* 2015;632:707-10.
- [58] <https://uslularhadde.com/metalmatrislikompozitmalzemeler> (erişim tarihi:01.11.2021).
- [59] Şenel MC, Gürbüz M, Koç E. SiC Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Ve Mikro Yapısının İncelenmesi. *J Technological Applied Sciences.* 2018;13(2):122-33.
- [60] Mallikarjuna HM, Ramesh CS, Koppad PG, Keshavamurthy R, Sethuram D. Nanoindentation and wear behaviour of copper based hybrid composites reinforced with SiC and MWCNTs synthesized by spark plasma sintering. *Vacuum.* 2017;145:320-33.
- [61] Akramifard HR, Shamanian M, Sabbaghian M, Esmailzadeh M. Microstructure and mechanical properties of Cu/SiC metal matrix composite fabricated via friction stir processing. *Materials & Design (1980-2015).* 2014;54:838-44.
- [62] Li M, Zhai H, Huang Z, Liu X, Zhou Y, Li S, et al. Tensile behavior and strengthening mechanism in ultrafine TiC_{0.5} particle reinforced Cu–Al matrix composites. *J Alloys Compd.* 2015;628:186-94.
- [63] Balalan Z, Gulan F. Microstructure and mechanical properties of Cu-B₄C and CuAl-B₄C composites produced by hot pressing. *Rare Metals.* 2019;38(12):1169-77.



Akıllı Şebekeler: Siber Güvenlik Unsurları ile Veri İletimi

Muhammed Zekeriya GÜNDÜZ^{1*} , Resul DAŞ²

^{1*}Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bingöl, Türkiye.
ORCID: 0000-0003-4278-7123, mzungunduz@bingol.edu.tr

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-6113-4649, rdas@firat.edu.tr

(Alınış/Arrival: 16.12.2021, Kabul/Acceptance: 26.12.2021, Yayınlanma/Published: 31.12.2021)

Özet

Kritik altyapıların ana unsurunu oluşturan elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımında etkinliği sağlamak açısından akıllı şebeke uygulamalarının kullanımı artmaktadır. Günümüz kritik altyapılarının uygulanmasındaki en büyük sorunlardan birisi de siber güvenliğine yönelik tehditler ve saldırılardır. Siber güvenlik, bilgi varlıklarında bulunan açıklıkların tehditler tarafından kullanılması sonucunda bilgi varlığının gizlilik, bütünlük veya erişilebilirliğinin zarar görmesini engelleme süreçlerinin tamamıdır. Akıllı şebekelerin kullanımının yaygınlaşması sürecindeki tehditlerin tanımlanması, sınıflandırılması ve bunlara karşı alınacak önlemlerin belirlenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı şebekelerin siber saldırılardan en az seviyede etkilenmesi için bilgi güvenliğinin temel unsurları olan gizlilik, erişilebilirlik ve bütünlük esaslarının diğer gereksinimlerle beraber en üst düzeyde sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada; akıllı şebekelerin tanımlanması, akıllı şebekelerde bilgi güvenliği ve siber güvenlik tehditleri ile ilgili değerlendirmeler yapılarak çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebekeler, siber güvenlik, bilgi güvenliği, kritik altyapılar

Smart Grids: Data Transmission with Cyber Security Principles

Abstract

The use of smart grid applications is increasing in order to ensure efficiency in the generation, transmission and distribution of electrical energy, which is the main element of critical infrastructures. One of the biggest problems in the implementation of today's critical infrastructures is threats and attacks on cyber security. Cyber security is the whole of the processes of preventing damage to the confidentiality, integrity or availability of information assets as a result of the exploitation of vulnerabilities in information assets by threats. Studies are needed to identify and classify threats in the process of spreading the use of smart grids and to determine the countermeasures to be taken against them. In order to be affected by cyber attacks at the lowest level, the principles of confidentiality, availability and integrity, which are the basic elements of information security, should be provided at the highest level along with other requirements in smart grid applications. In this study; evaluations about the definition of smart grid, information security in smart grid and cyber security threats were made and solution suggestions were presented.

Keywords: Smart grid, cyber security, information security, critical infrastructures

1. GİRİŞ

Enerji üretimi ve tüketimi arasındaki gerçek zamanlı dengeyi izlemeye ve kontrol etmeye olanak sağlayarak muhafaza eden akıllı şebekeler, nesnelerin internetinin en kapsamlı örneği olarak görülebilir [1]. Akıllı şebekelerin sahip olduğu iki yönlü veri ve elektrik iletimi sayesinde; iletim ve dağıtım şebekeleri de dâhil olmak üzere, enerji üretiminden nihai elektrik kullanıcılarına kadar elektrik şebekesinin, bilgi iletişim teknolojileri sayesinde yüksek doğrulukla izlenmesi, yönetilmesi ve kontrol edilmesi etkin bir şekilde sağlanabilmektedir [2]. Mevcut elektrik şebekesinin, yalnızca güç iletimi için değil, aynı zamanda gelişmiş izleme ve kontrol uygulamalarıyla veri iletmek için de akıllı cihazları içeren siber-fiziksel bir sistem olarak yeniden yapılandırılması bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bunun için, iki yönlü elektrik ve bilgi akışı kullanılarak elektrik şebekesinin geliştirilmesi; kendi kendini onarma, uyarlanabilir koruma ve kontrol, müşteri katılımı ve elektrikli araçlar gibi akıllı özelliklerin kullanımını sağlar.

Akıllı şebekeler, hizmet sağlayıcılar ve tüketiciler arasında gerçek zamanlı olarak büyük miktarda veri üreten, farklı türde düğümler, cihazlar, ağlar, sistemler ve çok sayıda uygulamadan oluşan modernleştirilmiş, karmaşık bir ortamdır. Bu ortamda üretilen veriler, yapıları, kısıtlamaları ve ihtiyaçları nedeniyle karmaşık çözümler, etkili yönetim ve analitik yaklaşımlar gerektirir. Bu veriler, nihayetinde bilgi alışverişi yoluyla şebeke güvenilirliğini, kullanılabilirliğini, güvenliğini ve verimliliğini artırmaya yardımcı olan bilgi ve iletişim teknolojilerine bağlıdır. Artan bu bağımlılık, ağ bileşenlerinin yanlış yapılandırılması, zayıf ağ tasarımı, yazılımdan kaynaklı güvenlik açıkları, güvenlik politikası zaafiyetleri gibi nedenlerden dolayı elektrik güç sistemleri için ek zorluklar ve tehditler de getirmektedir [3].

Akıllı şebeke uygulamalarının başarılı bir şekilde uygulanması büyük ölçüde iletişim altyapısına bağlıdır. Bu karmaşık, heterojen ağdaki her bir bileşen diğer herhangi bir bileşen ile herhangi bir zamanda, verimli ama aynı zamanda güvenli bir şekilde iletişim kurabilmelidir. Bu iletişimin büyük ölçüde bilgi teknolojilerine bağımlı olması verinin güvenliği ve gizliliği ile ilgili endişeleri ortaya çıkarmaktadır. İletişim ve ağ sistemlerine özgü güvenlik açıkları, akıllı şebeke sisteminin çalışmasını olumsuz etkileyebilir. Eğer siber saldırganlar bu güvenlik açıklarından başarılı bir şekilde yararlanırsa, tüm altyapıya ciddi şekilde zarar vererek ekonominin çökmesi, kaos ortamının oluşması, insanların hayatlarını kaybetmesi gibi durumlara neden olabilirler. Bu nedenle siber güvenlik, bu kritik altyapı uygulamaları için birincil endişedir [4].

Kritik altyapı şebekelerinde meydana gelebilecek siber saldırılar, sabotaj veya ihmallere bağlı olarak gelişebilecek problemler ve kesintiler, tüm kritik altyapıları doğrudan etkileyerek kamu düzeninin sağlanmasında ve günlük yaşamda ciddi sorunlar ve hizmet kesintilerine sebep olacaktır. Akıllı şebekeler ile ülke ve birey bazında kaçak elektrik kullanımının minimum seviyelere düşürülmesi sağlanabilir. Bu bağlamda elektrik üretim, iletim ve dağıtım şebekelerinde olası arızaların tamiri, anormalliklerin tespiti, kaçak kullanım tespiti gibi faydaların sağlanması için şebekelerin uluslararası standartlara uygun olarak yönetilmesini sağlayan “akıllı şebekeler” haline getirilmesi gerekmektedir. Akıllı şebeke terimi, elektrik dağıtım sisteminin modernizasyonunu ifade eder. Bu durum, sistemin birbirine bağlı elemanlarının çalışmasını otomatik olarak optimize etmesine, kendisini izlemesine ve siber saldırılara karşı koruyabilmesi anlamına gelmektedir [5].

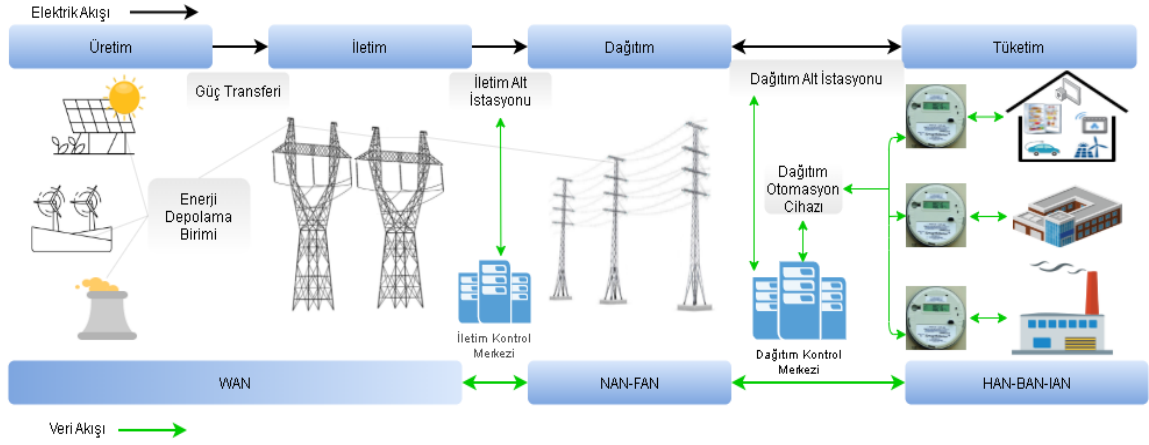
Akıllı şebekeler güç iletim hattı ve veri iletim hattı olarak iki ayrı iletim hattı içerirler. Akım, gerilim, güç ve frekans gibi parametreler ölçülerek sistemin izlenmesi daha otonom ve kolay hale gelir. Alternatif akım elektrik enerjisinin depo edilememesi, şebekenin elektrik enerjisi

talebini güvenle sağlayabilmesi, uzaktan sayaç okuma sistemlerinin etkin kullanılmaması gibi sebeplerden dolayı akıllı şebekelerin kullanımı insan hayatına daha pratik ve kalıcı çözümler sunmaktadır. Akıllı şebeke iletişim altyapısı, iki yönlü olacak şekilde şebeke varlıkları boyunca koordinasyon ve veri akışını sağlar. Enerji depolama teknolojileri, yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçlar gibi farklı teknolojilerin akıllı şebekelere entegre edilmesi iletişim altyapısının karmaşık bir hal almasına neden olmaktadır.

Akıllı şebeke, elektrik enerjisi altyapısının modernizasyonunun bir sonucudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonuna izin vermenin yanı sıra, gelişmiş bilgi işlem ve iletişim teknolojilerinden de yararlanır. Daha iyi enerji yönetimi ve dağıtımı, daha iyi kontrol, verimlilik, şeffaflık ve güvenlik, maliyetlerin düşürülmesi, altyapının güvenilirliğinin, verimliliğinin ve şeffaflığının artırılması akıllı şebekelerin sağlayacağı önemli faydalardandır. Ayrıca, kullanıcıların elektrik tüketim karakteristiklerinin bilinmesiyle gerçekleştirilebilecek pratik uygulamalar ile elektrik faturalarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynak kullanımı, uzaktan okuma sistemlerinin gerçekleştirimi de akıllı şebeke uygulamalarının sağlayacağı faydalardan bazılarıdır. Tüm sistemde güvenliği sağlamak için üç önemli güvenlik ilkesi olan gizlilik, bütünlük ve erişilebilirliğin yerine getirilmesi gerekir [6]. Tüzel veya gerçek bir kişinin enerji kullanım bilgileri gerek ticari gerek kişisel açıdan önemlidir. Bu bakımdan çalışmada veri güvenliğinin temel unsurları olan gizlilik, erişilebilirlik ve bütünlüğün sağlanmasının gerekliliği ve önemi ortaya konmaya çalışılmıştır. Bir akıllı şebeke uygulamasının genel yapısı ve bileşenleri şekil 1’de gösterilmiştir.

Kritik bir altyapı olarak akıllı şebekelerin, izleme ve kontrol işlemleri standart IP tabanlı protokoller aracılığıyla internet altyapısı üzerinden sağlandığı için siber saldırılara maruz kalması olasıdır. Bir saldırgan, gerçek zamanlı enerji üretim ve tüketim dengesini bozarak, cihazlar ile elektrik üretim ve dağıtım şirketleri tarafından oluşturulan verilerin değiştirilmesiyle elektrik iletimini ve işlerliğini sekteye uğratarak sisteme telafi edilemeyecek zararlar verebilir. Dolayısıyla, veri güvenliğinin üç temel bileşeni olan gizlilik, erişilebilirlik ve bütünlük, akıllı şebeke uygulamalarında siber saldırılara karşı sağlanması gereken ilkelere ve sistem iletişim ağı bu ilkelere göre oluşturulmalıdır. Kullanıcı ihtiyaçlarına göre kesintisiz olarak güç kaynaklarının erişilebilirliğinin sağlanması, iletilen verilerin bütünlüğünün sağlanması ve kullanıcı verilerinin gizliliğinin sağlanması temel güvenlik bileşenlerinin akıllı şebekelerdeki genel çerçevesini göstermektedir [7].

Bu çalışmada; elektrik enerjisinin etkin kullanımını sağlayan akıllı şebekelerde bilgi güvenliğine yönelik tehditler ele alınmıştır. Tehditler incelenerek değerlendirmeler yapılmış ve çözüm önerileri sunulmuştur. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde akıllı şebekelerde siber güvenlik kavramı detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise bu çalışmaya konu olan akıllı şebekelerdeki muhtemel tehditler sıralanmaya çalışılmıştır. Dördüncü bölümde olası tehditlere karşı alınabilecek temel güvenlik önlemleri güvenli veri iletimi bakış açısı ile belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç bölümünde ise akıllı şebekelerde veri güvenliğine yönelik olası tehditler ve önlemler konusunda değerlendirmeler yapılmış olup sonraki çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

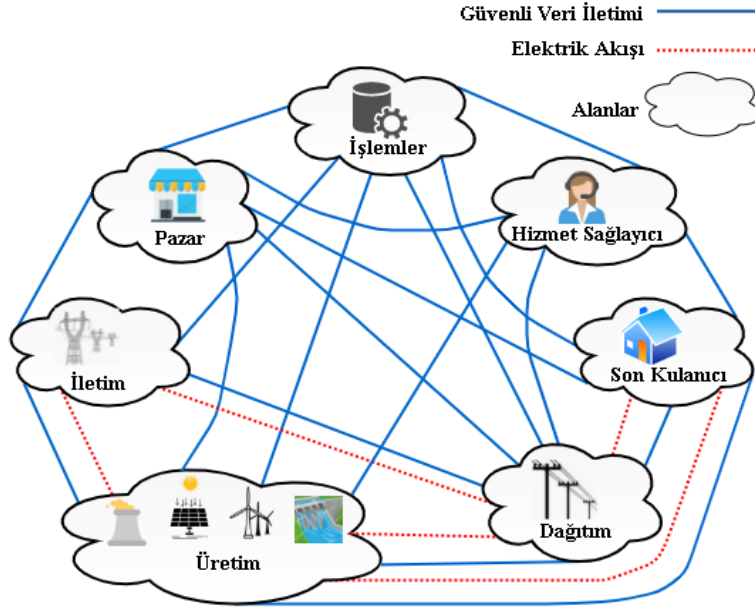


Şekil 1. Akıllı şebeke genel yapısı ve bileşenleri

2. AKILLI ŞEBEKELERDE SİBER GÜVENLİK

Akıllı şebekelerin üretmiş olduğu her tür verinin insanoğlunun hayatını kolaylaştırmada üretim ve tüketim açısından önemli rolü vardır [8]. Bu verilerin toplanmasında ve iletiminde meydana gelebilecek saldırıları engellemek amacıyla bilgi güvenliği tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Bilgi güvenliği bilginin bütünlüğünün, gizliliğinin ve erişilebilirliğinin sağlanmasıdır. Bu ilkelerinin bir kısmı teknik olarak sağlanırken bir kısmı ise bilgi güvenliği bilinci oluşturularak gerçekleştirilebilir. Bilgi güvenliği açısından varlık, varlıkta bulunan açıklık ve bu açıklığı kullanacak tehdit bileşenleri çok önemlidir. Bu üç faktörün bir araya gelmesi bilginin gizliliğinin, bütünlüğünün veya erişilebilirliğinin zarar görmesine sebep olabilmektedir. Bilgilerin, bir kısmı cinsiyet, posta kutusu no, doğum tarihi, adres vb. gibi hassas olmayan veriler iken bir kısmı da vatandaşlık no, kredi kartı no, anne kızlık soyadı gibi hassas verilerden oluşmaktadır. Hassas verilerin ele geçirilmesi saldırganı doğrudan fayda sağlayabilir iken hassas olmayan veriler ise dolaylı olarak fayda sağlayabilir [9].

Akıllı şebeke uygulamalarında yer alacak tarafların yedi alanda toplanabileceği belirtilmektedir [6]. Hemen hepsi birbiriyle iletişim halinde olan bu yedi alan kavramsal model olarak şekil 2’de gösterilmiştir. Bu yedi alan arasında yer alan ara yüzlerin her birinde bilginin gizliliği, bütünlüğü ve erişilebilirliği açısından farklı güvenlik gereksinimleri uygulanmalıdır. Bu bağlamda her bir ara yüzde alınacak güvenlik önlemlerinin belirlenmesi gereklidir.



Şekil 2. Akıllı şebekelerin kavramsal modeli

Bir akıllı şebeke uygulaması birbirine bağlı çok sayıdaki cihazdan oluşur. Akıllı şebekede iletilen iki tür veri bulunmaktadır. Bunlar; kullanıcı bilgileri ve komut içeren operasyonel verilerdir. İlk tür verilerin ihlali genellikle mahremiyet ihlaline girer iken, ikincisi ise sistemin çalışmasının topyekün zarar görmesine sebep olabilmektedir. Operasyonel veriler ise gerçek zamanlı akım ve voltaj değerleri, trafo kademe değiştiricileri, kapasitörler, trafo besleyicilerinin akım yükleri, arıza konumları, rölelerin durumu, devre kesicilerin durumu olabilir. Operasyonel veriler, akıllı şebeke sistemlerini, güç kesintisine neden olabilecek herhangi bir güvenlik açığından ve saldırıdan korumak için yüksek düzeyde güvenlik gerektirirler. Akıllı şebekelerin güvenliği, ağırlıklı olarak iletişim kanallarının güvenliğinin sağlanması olarak değerlendirilebilir [2]. Bir akıllı şebeke sisteminde tehditler; fiziksel, çevresel ve siber tehditler olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Bu bağlamda, güç ve enerji sistemlerinde meydana gelebilecek saldırı bileşenleri şekil 3'deki gibi özetlenebilir. ABD'de bulunan Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından listelenen akıllı şebeke üst düzey güvenlik gereksinimleri, iletişim ağını kullanan herhangi bir sistemden farklı değildir. Gizlilik, özel bilgilere yetkisiz erişimi engeller. Bütünlük, bilginin doğruluğunu garanti eder. Erişilebilirlik, hizmet garantisi sağlar. Bununla birlikte, geleneksel iletişim ağlarından farklı olarak, akıllı şebekelerde güvenlik gereksinimlerinin öncelik sıralaması erişilebilirlik, bütünlük ve gizlilik şeklindedir. Akıllı şebeke uygulamalarında birçok güvenlik gereksinimi karşılanmalıdır. Bunlar şu şekilde özetlenebilir [10]:

Bütünlük (Integrity): Bilginin ve sistemin yasadışı kullanıcılar tarafından izinsiz bir şekilde değiştirilmesinin önlenmesidir. İletilen verilerin yetkisiz bir şekilde değiştirilmemesini sağlamaktır. Bütünlük, yetkisiz değişime karşı verinin korunması demektir. Örneğin, akıllı sayaçlar kaynak doğrulaması ve yazılım güncellemesinin bütünlüğünü sağlamalıdır. Akıllı sayaçtaki verinin dağıtım şirketine aktarılması sırasında verilerin bütünlüğünü bozabilecek saldırılar olabilir. Aktarılabilecek veriler faturalandırmada kullanılan elektrik tüketim verileri olduğundan bütünlüğünün korunması gerekmektedir. Aksi halde bütünlüğü korunamayan bu veriler değiştirilerek şirket ya da son kullanıcı aleyhine maddi zararların doğmasına neden olacaktır. Veri akışının, kontrol mesajlarının veya sensör değerlerinin kötü niyetle şekillendirilmesi veya tekrarlanması sistemin saldırıya uğradığı anlamına gelir ve bütünlük kaybı olarak adlandırılır. İnkâr edememe ve güvenilirlik veri bütünlüğünün önemli

bileşenleridir. Bütünlük saldırılarının hedefi; fatura bilgisi, müşteri hesap bakiyesi gibi müşterinin bilgileri veya cihazların çalışma durumu, voltaj okumaları gibi ağ operasyon bilgileridir. Diğer bir deyişle, bu tür saldırılar akıllı şebekedeki kritik veri alışverişini bozmak için akıllı şebeke iletişim sistemindeki orijinal bilgileri kasıtlı olarak değiştirmeye çalışırlar [4].

Erişilebilirlik (Availability): Yetkili olan kullanıcıların sisteme erişmesinin sağlanmasıdır. Erişilebilirlik bilgi ve hizmetlerin sürekli ve güvenilir bir şekilde erişimini ve kullanımını içerir. Akıllı şebeke uygulamalarında zamanında bilgiye erişim sağlanmalıdır. Erişilebilirlik, yetkisiz kişilerin veya sistemlerin iletişim ve güç altyapısına da erişememesini garanti eder. Akıllı şebeke uygulamalarında kontrol sistemleri, güvenlik sistemleri, iş istasyonları, üretim sistemleri ve bu sistemlerin aralarında ya da dış dünya ile haberleşmesinde kullanılan iletişim sistemleri gibi tüm bilgi teknolojisi unsurlarının devamlı aktif olması erişilebilirlik ile ifade edilir [12]. Sistem erişilebilirliğini hedefleyen saldırılar, kaynakların kullanılmaması için veri transferini bozmayı hedefleyen hizmet reddi saldırıları (DoS) olarak kabul edilir. DoS saldırıları akıllı şebekelerde bilgileri geciktirebilir, engelleyebilir veya bozabilir. Bu durum güç veya bilgi alışverişi sağlanamamasına neden olur. Erişilebilirliğin kaybolmasında, yetkilendirilmiş bireylere erişim engelleneceğinden, güç dağıtımı etkilenecektir. İletişimin kesilmesi, kontrol mesajlarının veya veri akışının kesilmesi, sistemin kontrolsüz kalması anlamına gelir [13].

Saldırganlar	Saldırı Araçları	Zafiyetler	Eylemler	Hedefler	Sonuç	Amaçlar
Hackers	Fiziksel Saldırı	Tasarım	İnceleme	Mali Hesaplar	Erişim Ayncağı	Politik Kazanç
Teröristler	Bilgi Değişimi	Uygulama	Zafiyet Tarama	Süreçler	Bilgi İfşası	Finansal Kazanç
Ticari Saldırgan	Kullanıcı Komutları	Konfigürasyon	Taşkın Saldırısı	Veri	Bilgi Bozulması	Zarar Vermek
Vandallar	Script Kodlar		Kimlik Doğrulama	Bileşenler	Sistem Kitlenmesi	Pazar Manipülasyonu
Dahili Saldırganlar	Otonom Ajanlar		Bypass etme	Bilgisayarlar	Kaynak Hırsızlığı	Gözdağı
Profesyonel Gruplar	Dağıtık Saldırı Araçları		Aldatmaca	Ağ Sistemi		Meydan Okuma
	Veri Çalma Araçları		Okuma	İnternet Ağı		Kaos Oluşturma
			Kopyalama	Tüketiciler		
			Veri Aşırma	İşletmeler		
			Değiştirme			
			Silme			

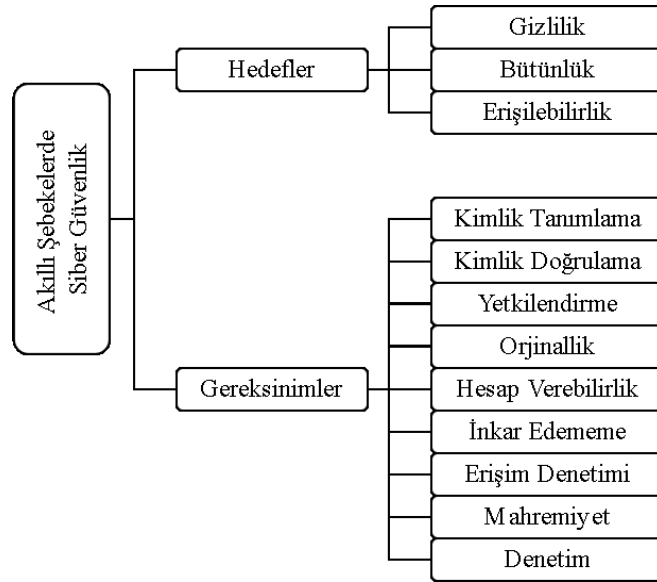
Şekil 3. Enerji sistemlerinde saldırı bileşenleri

Akıllı şebeke uygulamalarında bu üç temel güvenlik prensibinin yanısıra olması gereken diğer bazı güvenlik gereksinimleri de vardır. Bu gereksinimler şu şekildedir:

Kullanıcı Mahremiyeti (User's Privacy): Son kullanıcı ile ilgili verilerin, kullanıcının resmi bir onayı olmaksızın farklı amaçlar için kullanılmayacağını, farklı kişilerce elde edilemeyeceğini ve sadece belirlenen amaçlar için kullanılacağını garanti edilmesidir. Örneğin, faturalandırma amacıyla kullanılan enerji tüketimi verileri başka amaçlar için kullanılamaz. Akıllı şebekelerde enerji kullanım verileri incelendiğinde, son kullanıcıya ait çalışma saati, uyku saati, günlük hayata dair planlamaları ile ilgili tahminler yürütebilecek bilgiye sahip olunabilmektedir. Bu bilgilerden yapılacak çıkarımlar, saldırıların ataklarını bu bilgilere göre planlama riskini içerir. Dolayısıyla, akıllı cihazlardan alınan bu tür bilgiler ticari ve stratejik açıdan önemli olabilir. Buradan da anlaşılacağı gibi enerji kullanım verileri faturalandırmadan daha fazlasıdır. Dolayısıyla, bu verilerin iletiminde mahremiyet öne çıkmaktadır. **Yetkilendirme (Authorization):** Kimliği doğrulanmış bir nesnenin veya kişinin, bazı kaynaklar üzerinde belli işlemleri gerçekleştirmek için önceden belirlenmiş haklara sahip olduğunun garantilenmesidir. Örneğin, akıllı sayaç üzerinde doğrudan elle yapılandırma yapması gereken görevli, önceden belirlenen yetki ve erişim kontrol haklarına sahip olmalıdır. **Kimlik Doğrulama**

(Authentication): Akıllı şebekedeki herhangi bir iletişim aygıtının kimliğini belirleme işlemidir. Örneğin, enerji sağlayıcı, ilgili kullanıcıyı faturalandırmak için her bir akıllı sayacın kimliğini doğrulamalıdır. Kullanıcı ve cihaz kimlik doğrulamasındaki bir zafiyet, saldırganların özel bilgilere erişmesine veya cihazların akıllı şebeke kaynaklarına yetkisiz erişimine yol açabilir. Kimlik doğrulamayı sağlayan mekanizma genellikle bütünlük ilkesini de sağlar. Akıllı şebekelerde bu iki ilkenin sağlanması ortadaki adam, kimliğine bürünme, paket manipülasyonu gibi yaygın saldırılara karşı koruma sağlar. Bu koruma özet fonksiyonlar, anahtar özetleme ve dijital imza gibi siber güvenlik araçları ile sağlanabilir. Kimlik doğrulama protokolleri ile ele alınması gereken saldırılardan biri de saldırganların mesajları yakaladığı ve daha sonra cihazlara yeniden oynattığı replay attack saldırısıdır. İnkâr edememe (Non-Repudiation): Bir sistem veya kullanıcı tarafından gerçekleştirilen belirli bir eylemin daha sonra reddedilemeyeceğini garanti etmektir. Değerli kaynaklar ve bilgiler söz konusu olduğunda inkâr edememe daha önemli bir hale gelir.

Orjinallik (Authenticity), denetim (auditing), hesap verebilirlik (accountability), kimlik tanımlama (identification), erişim denetimi (access control) diğer siber güvenlik gereklilikleridir. Şekil 4, akıllı şebeke uygulamalarında üst düzey siber güvenlik hedeflerini ve özel güvenlik gereksinimlerini göstermektedir.



Şekil 4. Üst düzey siber güvenlik hedefleri ve özel güvenlik gereksinimleri

3. AKILLI ŞEBEKELERDE SİBER SALDIRILAR ve TEHDİTLER

Önceki bölümde belirtildiği gibi gizlilik, bütünlük, kimlik doğrulama ve yetkilendirme gerekliliklerinin sağlanması için iki yönlü güvenli iletişim kanalı gereklidir. Bu iletişim kanalı çeşitli siber saldırılara maruz kalabilir. Akıllı şebeke güvenliğini tehlikeye atabilecek pasif ve aktif olarak gerçekleşen iki tip saldırı vardır [8]. Pasif saldırının amacı, sistem yapılandırmasını, mimarisini ve normal çalışma davranışını öğrenmek için iletilen verilerin elde edilmesidir. Veriler üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadığından dolayı bu tür saldırıların tespit edilmesi zordur ve bu nedenle saldırının, tespit edilmesinden ziyade önlenmesi üzerine odaklanılmalıdır. Aktif saldırılar ise iletilen veriler üzerinde değişiklik yaparak ya da manipüle edilmiş yanlış veriler ekleyerek sistemin çalışmasını etkileyecek şekilde planlanırlar.

Bilinçli saldırılar, bilgisayar korsanları, organize suç üyeleri, siber suçlular, teröristler, yönetim karşıtları, vandallar ve özellikle güvenlik alanında kapsamlı bilgi sahibi olan şirket çalışanları

ve hatta akıllı sayaç sahibi olan son kullanıcıların enerji altyapısına enerji hırsızlığı, dolandırıcılık, sahtekârlık, sabotaj, vandalizm gibi farklı amaçlar için yaptıkları saldırılardır. Bilinçsiz saldırılar, genellikle sistem kullanıcılarının siber güvenlik farkındalıklarının düşük olması nedeni ile ortaya çıkan saldırılardır. Akıllı şebeke saldırılarının üç ana nedeni, manipülasyon, sabotaj ve casusluktur [14].

3.1. Akıllı Şebekelerde Siber Saldırganlar

Siber suç, hacktivizm, siber casusluk ve siber savaş dâhil olmak üzere şebekeye yapılan saldırılara atfedilebilecek birçok sebep vardır. Akıllı şebeke gibi kritik altyapılara saldırı siber saldırıların motivasyonları ekonomik nedenlerden, hoşnutsuz çalışanlardan, sanayi casusluğundan terörizme kadar uzanabilir. Bazı tüketiciler elektrik faturalarını azaltmak amacıyla belli sistem elemanlarına saldırılar düzenleyebilirler. Böyle bir saldırının en yakınındaki gelişmiş ölçüm altyapısı (AMI) sistemine bağlanması yeterli olacaktır. Bazı son kullanıcılar üretim ve tüketim bilgilerini değiştirerek ya da faturalandırma sistemine erişerek kendilerine maddi fayda sağlamayı amaçlayabilirler.

Akıllı şebekelerdeki zafiyetler, saldırı veya kullanıcılar tarafından bilinçli yada bilinçsiz olarak farklı amaçlar doğrultusunda sisteme farklı seviyelerde zarar vermek için kullanılabilirler. Saldırganlar; script kiddies, profesyonel saldırı, terörist saldırı, çalışanlar, rakip firmalar, ya da müşterilerin kendileri olarak saldırı amaçlarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Akıllı şebekelerdeki bu saldırı bu şekilde tanımlanabilirler [7], [15], [16] :

Zararsız Saldırganlar: Sistemin güvenliğini ve işleyişini bir bulmaca olarak gören, niyetleri saldırı olmayan saldırıdır. Bu saldırı normal olarak entellektüel meydan okuma ve merakla hareket ederler. Hobbyist, script kiddies bu saldırılara örnektir. **Tüketiciler:** Diğer tüketicilere karşı intikam ve kin ile hareket ederek, güç sistemlerinin kesilmesi için hareket eden saldırıdır. Son tüketiciler kendilerine fayda sağlayacak şekilde kendi akıllı sayaç veya ağ geçidi cihazlarına da siber saldırı gerçekleştirebilirler. **Teröristler:** Terör eylem nedenlerini daha etkin şekilde duyurabilmeyi amaçlayan yasadışı saldırıdır. **Çalışanlar:** Kasıtlı ya da kasıtsız olarak saldırıda bulunan çalışanlardır. Çalıştığı ortama kırgın bir çalışan dâhili saldırı olarak değerlendirilir. **Rakip Firmalar:** Finansal kazançlar için rakip firmaların birbirlerine siber saldırıları da bulunabilirler. Ayrıca, bir rakip, kişisel bilgileri toplayarak tüketicinin mahremiyetini herkesin erişebileceği şekilde açığa çıkarabilir. Kurumsal veriler, rakip servis sağlayıcıları arasındaki iç rekabet için veritabanından çalınabilir.

Tanımlanmış olan bu saldırı tiplerinin dışında tanımlanmamış farklı saldırı motivasyonlarına sahip saldırıların olması da mümkündür. Bu saldırı, sistem bileşenleri bazında, protokol bazında ve topoloji bazında olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılan çok çeşitli saldırılara neden olabilir. Bileşen bazında saldırılar, Uzak Terminal Birimi (RTU) içeren saha bileşenlerini hedefler. RTU'lar geleneksel olarak mühendisler tarafından akıllı şebeke cihazlarını uzaktan yapılandırmak ve sorun gidermek için kullanılır. Bu uzaktan erişim özelliği, kötü niyetli kullanıcıların cihazların kontrolünü ele geçirmesi ve cihazların kapatılması gibi durumlara olanak tanıyan bir saldırıya zemin hazırlayabilir. Protokol bazlı saldırılar, tersine mühendislik gibi yöntemler kullanarak iletişim protokolünün kendisini hedef alır. Topoloji bazlı saldırılar, genellikle operatörlerin güç sisteminin anlık durumunu tam olarak değerlendirmesini engelleyen ve yanlış karar vermelerine neden olan bir DoS saldırıları ile ağ topolojisinin hedef alınmasıdır.

3.2. Saldırı Seviyeleri

Zayıf bir siber altyapı, saldırganın zayıf bağlantılar yoluyla güvenliği ihlal etmesine sebep olabilir. Böylece kontrol yazılımına erişim kazanır, sistemin üretim ve tüketim hesaplamalarında istikrarsızlık oluşturmak için fatura bilgilerini ve yük koşullarını değiştirir. Akıllı şebekeler, istihbarat, enerji, politika ve sosyal kaygıların kesişimidir. Bu, saldırganların ve niyetlerin çeşitliliğini açıklar. Sistem bileşenlerine erişme ayrıcalığına sahip olan hoşnutsuz bir çalışan, yazılım algoritmalarını ya da cihazların ayarlarını kendi menfaatlerine göre değiştirebilir. Saldırgan, sistem kullanıcı adları ve parolalarına erişmek için tuş kaydedici yazılımları kullanabilir. Bu tür eylemlerin tespit edilmesi zor olmakla kalmayıp aynı zamanda önlenmesi de zor olabilir.

Güvenilen alanın hem içinde hem de dışında kullanılan dizüstü bilgisayarlar ve USB bellek gibi cihazlar truva atı gibi kötü amaçlı yazılımların bulaşmasına sebep olabilir ve daha sonra sistem içinde kullanıldığında sistemin ele geçirilmesine yardımcı olabilirler. Cihazlar uzaktan güncellenmek istendiğinde İnternet ortamından alınacak olan güncelleme dosyalarındaki donanımın kontrol ayarları yada yazılımın kaynak kodu değiştirilerek cihazlar manipüle edilebilir [17].

Akıllı şebekelerde veriler derecelendirilirse bile, en düşük öneme sahip veriler bile insanların çalışma saatleri, uyku saatleri, günlük planlamaları ile ilgili tahminlerin yapılabilmesine olanak sağlayabilir. Veri güvenliği açısından risklerin tanımlanarak azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bunun için siber saldırıların seviyelerinin risk tanımlaması açısından yüksek-orta-düşük olarak belirlenmesi olası saldırılara karşı proaktif önlemlerin alınmasını sağlayacaktır.

3.3. Güç Sistemlerine Yapılan Geçmiş Saldırıları

Dünya genelinde güç sistemlerine karşı gerçekleştirilmiş siber saldırılar mevcuttur. 1999 yılında Brezilya'nın %70 ini etkileyen ve beş saatten fazla süren bir elektrik kesintisi yaşandı. 2003 yılında ise Kanada ve ABD'nin bir bölümünde ışıklar söndü. Elektrik kesintisi sadece ışıkların sönmeye neden olmadı, havaalanları, metrolar, trenler ve tüneller de kapatıldı. Elektrik gücünün kesilmesi, otomatik kapıların, asansörlerin ve tüm içme suyu hizmetlerinin çalışmasını askıya aldı. Hastaneler yedek jeneratörler tarafından üretilen sınırlı güçle çalıştı. Cep telefonu kuleleri, yazar kasalar ve ATM cihazları hizmet dışı kaldı. 2012 de Hindistan'da 600 milyondan fazla insanı elektriksiz bırakan ve yaklaşık üç saat süren bir elektrik kesintisi yaşandı. 2015 de Türkiye'de iki günden fazla süren ve tüm ülkeyi etkileyen bir elektrik kesintisi yaşandı. Bu saldırılar bağlamında özetlemek gerekirse, sistemsel ve yazılımsal hatalar ve zafiyetler, bu elektrik kesintilerinin arkasındaki ana nedenlerdir, bu nedenle elektrik şebekesinin siber güvenliğinin sağlanması sistemin erişilebilirliği ve güvenilirliği açısından bir zorunluluktur. Özellikle 2011 yılında İran'da nükleer santrale gerçekleştirilen Stuxnet siber saldırısı kritik altyapılarda siber güvenliğinin önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır [18]. Stuxnet kötü amaçlı yazılımı, şimdiye kadarki en zarar verici siber silahtır. Saldırı vektörleri, şebekenin fiziksel bileşenlerinden iletilen veriye kadar farklı elemanlarını hedef alıyordu. Stuxnet, diğer bileşenlerin yanı sıra binden fazla nükleer santrifüjün yok olmasına neden olabilecek şekilde belirli merkezi denetim ve veri toplama (SCADA) sistemlerini hedef almıştır. Kötü amaçlı ve karmaşık yapıda tasarlanan bu yazılımın gizliliği ve başarısı, bu tür sistemlerin güvenliği ile ilgili birçok soruyu gündeme getirmiştir.

4. GÜVENLİ VERİ İLETİMİ

Akıllı şebeke iletişim altyapıları, klasik İnternet iletişiminden çeşitli yönlerden farklılık gösterir. Özellikle mimarileri, kullanılan teknoloji ve hizmet kalitesi (QoS) bakımından farklılıklar vardır. Akıllı şebekelere has güvenlik çözümlerine duyulan ihtiyaç esastır. Akıllı şebeke iletişimi esas olarak makineden-makineye (M2M) iletişimi esas alır, bu da onu geleneksel İnternet trafiğinden daha öngörülebilir kılar. Öngörülebilirlik, anormallik tespitini basitleştirir, ancak kullanımdaki gözlem noktalarına ve protokollere bağlı olarak zorluklar devam eder. Ayrıca, akıllı şebeke ortamları genellikle homojen yapıları tercih eder. Hizmet sağlayıcılar, aygıtların, yazılımların, protokollerin ve ağ topolojilerinin monokültürüyle sonuçlanan bileşenleri bir veya birkaç satıcıdan satın alır. Bu durum, kötü amaçlı yazılımların yayılması için ideal bir ortam sağlayan aynı güvenlik açıklarına sahip cihaz popülasyonlarına yol açabilir. Ayrıca, güvenlik ve gizlilik endişeleri çelişen hedeflerin oluşmasına yol açabilir. Örneğin, enerji tüketimi hakkında veri toplayan ve kullanıcı davranışlarını izleyen akıllı sayaçlar da veri mahremiyeti endişelerini artırmaktadır. Bu veriler, İnternetteki her kullanıcı hakkında toplanan kişisel bilgilerle birleştirilebilir. Ayrıca, birçok akıllı sayaç türü uzaktan bağlantı kesme özelliğine sahiptir. Bu tür özellikler aynı anda birçok hanenin bağlantısını kesmek için kötüye kullanılabilirdiğinden güvenlik endişelerini artırmaktadır. Akıllı şebeke iletişimini İnternet iletişiminden ayıran özellikleri aşağıdaki gibi belirleyebiliriz:

- Cihaz seçiminde homojenlik (monokültürler).
- Güvenilmeyen taraflarca saha cihazlarına fiziksel erişim ihtimali.
- İnsandan-insana veya insandan-makineye iletişim yerine M2M iletişimin kullanılması.
- Akıllı sayaç, ağ geçiti, sensör, aktüatör gibi farklı cihaz tiplerinde ağ gereksinimi farklılıkları.
- Uzaktan izleme, bakım ve güncelleme ihtiyacı ve desteği.
- Sahadaki kurulumlar için cihaz kullanım ömrünün uzun olması.

Belirtilen özelliklerin etkin kullanımı ile geleneksel güç ağlarını ve bilgi iletişim teknolojilerini birleştirmek, akıllı şebeke konseptinin daha güvenilir olmasını sağlar.

4.1. Akıllı Şebekeler İçin İletişim Teknolojileri

Akıllı şebeke uygulamalarında verinin algılanması, toplanması, iletilmesi, değerlendirilmesi ve depolanması işlemleri birer zorunluluktur. Çok sayıda duyarga donanımlı cihazlardan alınan veriler veri toplama merkezlerinde toplandıktan sonra işlenmek ve değerlendirilmek üzere kontrol merkezlerine aktarılır. Bu bağlamda, akıllı şebekelerdeki iletişim ağları bu veri yükünü karşılayabilecek şekilde tasarlanmalıdır [3]. Elektrik şebekelerinde kullanılan iletişim ağlarının dört farklı seviyeden oluştuğu düşünülebilir. Bunlar:

İlk seviye (çekirdek iletişim) ağları: Bu ağlar çeşitli şalt tesisleri ile şebeke kontrol merkezleri arasındaki veri akışı bağlantısını sağlayan geniş alan ağlarıdır (WAN). Veri akışını sağlamak için yüksek kapasiteli bant genişliğine sahip olmaları gerekmektedir. Bu yüzden genel olarak fiber optik kablolarla tesis edilirler. Ethernet, SONET/SDH, IP/MPLS veya uydu teknolojilerinden yararlanılarak oluşturulurlar.

İkinci seviye iletişim ağları: Uzaktan sayaç okuma için trafo merkezlerine yerleştirilen veri toplama üniteleri ile kontrol merkezleri arasındaki veri iletişimini sağlayan ağlardır. Geniş bant

iletişim teknolojileri gerektiren bu ağların güvenilir ve düşük maliyetli olmaları gerekmektedir. 3G, Wimax, LTE, BPL gibi teknolojilerden yararlanılır..

Üçüncü seviye (müşteri iletişim) ağları: Trafo merkezlerinde bulunan veri toplama üniteleri ile akıllı sayaçlar arasında veri iletişimini sağlayan ağlardır. Kablolu ve kablosuz birçok teknoloji bu ağlarda kullanılır. 3G, Wimax, GPS/GPRS, BPL/PLC ve LTE teknolojilerinden yararlanılabilir. WiFi, semt alan ağları (NAN) ve saha alan ağları (FAN) alt ağlar olarak kullanılabilir.

Uç seviye (ev iletişim) ağları: Akıllı şebeke iletişim ağlarının son halkasını oluştururlar. Bu ağlar, ev alan ağları (HAN) olarak adlandırılırlar. Zigbee, WiFi ile PLC standartları üzerine inşa edilen teknolojilerdir. HAN teknolojileri ile oluşturulmuş enerji yönetim sistemi, akıllı ev/bina, akıllı ev aletleri, elektrikli araç vb. uygulamaların yönetilmesine olanak sağlarlar.

Akıllı elektrik şebekeleri açısından bakıldığında ön plana çıkan fiziksel veri iletişim ortamları, fiber, PLC ve radyo kanallarıdır. Fiber optik, elektromagnetik girişim yaratmaması, gürültüye maruz kalmaması ve ayrıca uzun mesafelere yüksek bant genişliğinde iletişim sağlaması nedeniyle ilk seçenektir. Buna rağmen radyo, mikrodalga iletişim sistemleri ilk yatırım ile işletme maliyetlerinin düşük olması ve hızlı tesis edilmeleri nedeniyle iyi bir alternatif oluştururlar.

4.2. Veri İletimi Sorunları

Varlıkların etkileşimi altında ortaya çıkabilecek olası veri iletim güvenlik sorunlarını tanımladıktan sonra, bu bölümde akıllı şebeke varlıklarını etkileyebilecek olası güvenlik sorunları tanımlanacaktır. Aşağıda, akıllı şebeke varlıklarının saldırı hedefi haline gelebileceği bazı senaryolar altında potansiyel tehditleri ve olası sonuçları tartışılmaktadır.

Senaryo1: Servis sunucularından veri çalmayı amaçlayan saldırılar.

Senaryo2: Servis sunucularının kontrolünü ele geçirmeyi amaçlayan saldırılar.

Senaryo3: Servis sunucularını kapatmayı amaçlayan saldırılar.

Yukarıda verilen üç senaryoda da saldırgan, sistem hakkında değerli bilgiler elde etmeyi, sisteme erişmeyi, sistemden veri çalmayı, kontrolü ele geçirmeyi veya devre dışı bırakmayı hedefler. Bunun için akıllı şebekedeki ana servis sunucularını hedef alır. Sistem hakkında değerli bilgiler toplamak, saldırganın sisteme erişirken hedefli bir saldırı planlamasını sağlar, saldırganla sistemle istediği şekilde etkileşime girme fırsatı verir. Sistem hakkında değerli bilgiler toplamanın bir yolu, sistem hakkında halka açık bilgilere İnternet üzerinden erişmek olabilir [19]. Bu tür bilgiler, özellikle sistemin zayıflığını hedef alan bir saldırı planlamasına yardımcı olmak için saldırganla kolaylık sağlar. Sistem hakkında bilgi toplamanın alternatif yolları, aktif bilgisayarlar, kullandıkları ağ hizmetleri, çalıştırdıkları işletim sistemleri vb. hakkında bilgileri ortaya çıkarmak için Nmap gibi ücretsiz olarak kullanılabilen yazılımları kullanarak bağlantı noktası tarama veya ping taramalarını içerebilir. Ayrıca, Nessus gibi güvenlik açığı tarayıcıları saldırganın, sistemin zayıf yönleri, işletim sistemi güvenlik açıkları, uygun izolasyonu sağlamayan kötü ağ tasarımı veya kötü tanımlanmış güvenlik duvarı kuralları hakkında bilgi edinmesine yardımcı olmak için kullanılabilir [20]. Akıllı şebekeye yönelik saldırılar içeriden de gerçekleştirilebilir. Bu tür saldırılar, akıllı şebekenin sunucularına zarar verme konusunda hem bilgi hem de motivasyona sahip hoşnutsuz çalışanlar tarafından veya sosyal mühendislik saldırıları [21], zayıf platform konfigürasyonlarını kullanarak akıllı

şebekenin sunucularına erişmeyi başaran diğer herhangi bir saldırgan tarafından gerçekleştirilebilir [7]. Zayıf platform konfigürasyonları ile kullanıcılara gereksiz erişim hakları verilmesiyle sonuçlanan yetersiz tanımlanmış politikalar, uygun olmayan veya var olmayan kimlik doğrulama mekanizmaları, kırılması kolay parolalarla sonuçlanabilecek zayıf tanımlanmış parola politikaları, ağ üzerinden şifrelenmemiş olarak aktarılan veriler ve veri koklama vb. durumlar verilerin ele geçirilme olasılığını artırır. Hedef sistem hakkında bilgi toplamak veya ona erişim sağlamak, akıllı şebeke sunucularına yönelik olası birçok saldırının ilk adımıdır.

Bu tür saldırılar, kötü amaçlı yazılımların sisteme bulaşmalarını ve DoS saldırılarını içerebilir. Kötü niyetli yazılımlar tarafından SCADA sistemlerine bulaşma olayları, Stuxnet, Flame ve Duqu örneklerindeki gibi geçtiğimiz yıllarda rapor edilmiştir. Bu tür yazılımların muazzam yetenekleri, akıllı şebeke içindeki herhangi bir sistem için büyük bir tehdit oluşturur. Bu tür yazılımlar, genellikle sistemin çalışması için gerekli olan sistem dosyalarını değiştirebilir veya silebilir, dolayısıyla kullanılabilirliğini ciddi sonuçlarla (yüksek etki) riske atabilir. Aynı zamanda log dosyaları, fatura dosyaları gibi sistem dışı dosyalar da hedef alınabilir. Örneğin, bir günlük dosyasını değiştirerek, bir saldırgan izini gizleyebilir veya kendisine karşı yanlış kanıtlar yerleştirebilir (orta etki). Kötü amaçlı yazılımların yetenekleri elbette bahsettiğimiz özelliklerle sınırlı değildir. Geri dönüşü olmayan hasara (yüksek etki) neden olabilecek güçlü yeteneklere de sahip olabilirler. Bu tür sistemlerde DoS saldırıları da mümkündür ve ağ kullanılabilirliğini tehlikeye atabilecekleri için en tehlikeli olanlar arasında kabul edilir [13]. Bu tür saldırılar, sistemin kaynaklarını aşırı yüklemeye yönelik herhangi bir çabanın sonucu olabilir. Bu durum, şebeke için ciddi veya yıkıcı sonuçlara yol açabilir (yüksek etki). Veriye yönelik yapılan siber saldırılar ağ trafiğinde bulunan veride ekleme, silme ve değiştirme işlemlerinden birini veya birkaçını akıllı şebekeyi yanıltarak gerçekleştirir ve sistemin yanlış kararlar almasını amaçlar.

4.3. Güvenli Veri İletimi

Elektrik tesislerinin operasyonel ve ticari talepleri, hem mevcut işlevleri hem de gelecekteki operasyonel gereksinimleri destekleyen yüksek performanslı bir veri iletişim ağı gerektirir. Böyle bir iletişim ağı, elektrik sistemi otomasyon uygulamalarının özünü oluşturur. Uygun maliyetli ve güvenilir bir ağ mimarisinin tasarımı çok önemlidir.

Bir akıllı şebeke sisteminde iletişim, farklı bant genişlikleri ve tüm cihazların, sertifika yetkililerinin ve sunucuların her zaman bağlanması gereken bağlantılara sahip farklı kanallar üzerinde olacaktır. Elektrik hizmetleri için yapısal bir çatı olarak değerlendirilen akıllı şebeke iletişim ağının otomasyon için yeni iletişim teknolojilerini kullanması ve dolayısıyla karar verme sürecini daha etkin hale getirmesi planlanmıştır. Akıllı şebeke uygulamalarının yapı ve ölçeğinin farklı olması farklı iletişim ağı çözümlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Akıllı şebeke sistemlerinin iletişim altyapısı olan AMI uygulamaları fiziksel ve mantıksal açıdan farklı ağ topolojilerini ve ortamlarını barındırır. İletişim ağının ana omurgası olarak fiber, kablosuz geniş bant veya güç hattı üzerinden geniş bant uygulamaları kullanılabilir. Olası çözümler, verilecek hizmetten istenen güvenilirliğe, çıktıya ve kapsama alanına bağlı olarak WiMax, WLAN, WSN ve kara mobil telsizleri (LMR) içerir. Kablosuz iletişim çözümleri yine sağlanacak hizmetin ihtiyaçlarına bağlı olarak lisanslı veya lisanssız olabilir. En yüksek güvenilirlik için lisanslı olanlar seçilmelidir. Yukarıdaki seçeneklerin her birinin avantajları ve dezavantajları vardır, ancak tüm çözümler için tutarlı bir şekilde doğru olan şey, ölçeklenebilir bir güvenlik çözümüne sahip olma ihtiyacıdır [2].

Aşağıdaki gibi problem örnekleri belirlenerek anlık çözümler önerilmelidir.

Problem: İnternette belirli uygulamalar oluşturulabilir. Kötü amaçlı yazılımlar ve DoS saldırıları gibi sorunlar, şebeke işlemlerine yönelik tehditlerdir.

Çözümler:

- Akıllı şebeke ağları için TCP/IP kullanımı.
- VPN (IPSec), SSH, SSL/TLS kullanımı.
- İzinsiz giriş algılama ve güvenlik duvarları kullanımı.

5.SONUÇ

Elektrik şebekelerinin akıllı hale getirilmesi gelişen dünyanın kaçınılmaz bir zorunluluğu olmuştur. Bu gelişme veri güvenliği konusunda bazı zafiyet ve endişeleri de beraberinde getirmektedir. Bu zafiyet ve endişeler akıllı şebekelerin uygulanmasında büyük bir engel olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda şebekelerin akıllı hale getirilmesinde olası tehdit ve zafiyetlerin belirlenerek önlemler alınması zorunludur.

Akıllı şebeke sistemlerinin bilişim sistemlerine bağımlı olması, kritik altyapılara yönelik siber tehditlerin daha karmaşık hale gelmesi, ciddi siber güvenlik tedbirlerinin alınmasını gerektirmektedir. Mevcut güvenlik tedbirlerinin yanısıra yapay zeka metotlarının da entegre edildiği ilave çözümler geliştirilmelidir. Ayrıca kurumlar arası koordinasyon ve işbirliği ile standardizasyon çalışmaları yapılmalıdır. Akıllı sayaç gibi ürünlerin etkin ve ekonomik bir şekilde geliştirilmesi önem arz etmektedir. Akıllı sayaç gereksinimlerinin belirlenmesi, ürün standardizasyonu kapsamında üretici kurum ve şirketlerin işbirliği içinde olmasının çözüme yardımcı olacağı değerlendirilmektedir. Akıllı sayaç standardizasyonu kapsamında yapılacak çalışmaların yetkili bir kamu kurumu liderliğinde gerçekleştirilmesinin daha etkin olacağı söylenebilir.

Akıllı şebeke iletişim altyapısının güvenliğini sağlamak, standart tabanlı son teknoloji güvenlik protokollerinin kullanılmasını gerektirir. Ortaya konan vizyona ulaşmak için atılması gereken birçok adım vardır. Bunların başında akıllı şebeke güvenliği için uyumlu bir dizi gereksinim ve standarda duyulan ihtiyaç gelir. Bu temel adımların hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için NIST'in yönlendirmesi altında başlatılan çalışmalara devam edilmelidir. Uzun yıllar boyunca kullanılacakları için gereksinimlerin ve standartların oluşturulmasına gereken özen gösterilmelidir.

Siber güvenlik sadece teknolojik bir süreç değil, topyekün bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu bağlamda; sağlam ve verimli bir akıllı şebeke siber altyapısı kurarak sistemin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini geliştirmek gerekir. Saldırı tespiti, saldırı engelleme, kimlik doğrulama ve anahtar yönetimi hala zorlu konular olarak devam etmektedir. Özellikle, makine öğrenmesi yöntemleri siber güvenlik uygulamalarına entegre edilerek etkin yöntemler geliştirilmelidir.

Bu çalışmada, akıllı şebeke uygulamalarında mimari yapı, sistem tasarımı, iletişim altyapısı ve güvenli iletişimin sağlanması için gereksinimler sunulmuştur. Ayrıca akıllı şebeke iletişim güvenliğinin zorluğu tartışıldıktan sonra teknik uygulamaların siber güvenlik yaklaşımı ile değerlendirmesi ile mevcut araştırma ve çözümler incelenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Gündüz MZ, Daş R. Nesnelerin İnterneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2018; 24(2).
- [2] Gündüz MZ, Daş R. Akıllı Şebekelerde İletişim Altyapısı ve Siber Güvenlik, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2020; 10(2).
- [3] Li Y, Liu Q. A comprehensive review study of cyber-attacks and cyber security; Emerging trends and recent developments, Energy Reports. 2021.
- [4] Yan Y, Qian Y, Sharif H, Tipper D. A Survey on Cyber Security for Smart Grid Communications, IEEE Communications Surveys Tutorials. 2012; 14(4).
- [5] Cardenas A. Cyber-Physical Systems Security, University of Bristol. 2019. Erişim adresi: https://www.cybok.org/media/downloads/Cyber-Physical_Systems_KA_-_draft_for_review_January_2019.pdf
- [6] Gopstein A, Nguyen C, O'Fallon C, Hastings N, Wollman D. NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 4.0, National Institute of Standards and Technology. 2021. doi: 10.6028/NIST.SP.1108r4.
- [7] Wei D, Lu Y, Jafari M, Skare P, Rohde K. An integrated security system of protecting Smart Grid against cyber attacks, Innovative Smart Grid Technologies. 2010. doi: 10.1109/ISGT.2010.5434767.
- [8] Komninos N, Philippou E, Pitsillides A. Survey in Smart Grid and Smart Home Security: Issues, Challenges and Countermeasures, IEEE Communications Surveys Tutorials. 2014; 16(4). doi: 10.1109/COMST.2014.2320093.
- [9] Sweeney L. k-anonymity: a model for protecting privacy, International Journal Uncertain Fuzziness Knowledge-Based Systems. 2002; 10(5). doi:10.1142/S0218488502001648.
- [10] Pillitteri VY, Brewer TL. Guidelines for Smart Grid Cybersecurity, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR) - 7628 Rev 1. 2014.
- [11] https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-5906-5_487
Erişim tarihi: 01.12.2021.
- [12] Xiao Y, Security and Privacy in Smart Grids. 2013. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b15240>
- [13] Acarali D, Rao KR, Rajarajan M, Chema D, Ginzburg M. Modelling smart grid IT-OT dependencies for DDoS impact propagation, Computers & Security. 2022; doi: 10.1016/j.cose.2021.102528.
- [14] Wagner M, Kuba M, Oeder A. Smart grid cyber security: A German perspective, International Conference on Smart Grid Technology. 2012. doi: 10.1109/SG-TEP.2012.6642389.

- [15] Wei D, Lu Y, Jafari M, Skare PM, Rohde K. Protecting Smart Grid Automation Systems Against Cyberattacks, IEEE Transactions on Smart Grid. 2011; 2(4). doi: 10.1109/TSG.2011.2159999.
- [16] Nicholson A, Webber S, Dyer S, Patel T, Janicke H. SCADA security in the light of Cyber-Warfare, Computers & Security. 2012; 31(4). doi: 10.1016/j.cose.2012.02.009.
- [17] Mo Y. vd, Cyber-Physical Security of a Smart Grid Infrastructure, Proceedings of the IEEE. 2012; 100(1). doi: 10.1109/JPROC.2011.2161428.
- [18] Kushner D. The real story of stuxnet, IEEE Spectrum, 2013. <https://spectrum.ieee.org/the-real-story-of-stuxnet> Erişim Tarihi: 05.12.2021.
- [19] Radoglou-Grammatikis P. vd, SPEAR SIEM: A Security Information and Event Management system for the Smart Grid, Computer Networks. 2021; cilt:193, sayı:108008. doi: 10.1016/j.comnet.2021.108008.
- [20] Procopiou A, Komninos N. Current and future threats framework in smart grid domain, IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems. 2015. doi: 10.1109/CYBER.2015.7288228.
- [21] Gündüz MZ, Daş R. Sosyal Mühendislik: Yaygın Ataklar ve Güvenlik Önlemleri, 9. Uluslararası Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı. 2016.