

Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Aralık-2023 6(2)

ISSN: 2651-3544

İçindekiler

	Makale Adı
1	Zorlu Ortam Koşullarında Çalışan Bilgisayarlar için Geliştirilen Peltier Etki ile Soğutulan Sıvı Soğutma Sisteminin Fanlı Soğutma Sistemi ile Karşılaştırılması Mehmet Şahin, Hakan IŞIK
2	Mühendislik Kırşehir Yöresi Atık Mermer Tozunun Tuğlanın Özelliklerine Etkisi Tamarah Zaid Kamil AL SHAMMARI, M. Mustafa Önal
3	Kinetik Cephe Sistemlerinin Performansa Dayalı Tasarımı ve Tasarım Süreci Ahmet Necip BELEK, Ruşen YAMAÇLI
4	Ergonomi Ölçütlerinin Üniversite Yapısında Değerlendirilmesi Hasan Ali Yücel Elementary School In Kırıkkale Sinem TAPKI
5	Makine Öğrenimi ve Hibrit Altuzay Sınıflandırıcılar için Yalıtık Kelime Tanıma Performanslarının Karşılaştırılması Serkan KESER
6	Kalsine Edilmiş İnjana Formasyonu Kiltaşının (Geç Miyosen), Puzolanik Aktivitesinin Değerlendirilmesi- Orta Irak Abed Ibrahim Mohammed Mohammed, Zeynel Başbüyük, Mohammed Kareem Abed, Gökhan Ekinciöğlü, Serdar Korkmaz

Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi uluslararası bilimsel hakemli bir dergidir.

Haziran ve Aralık Aylarında yılda 2 defa çevrimiçi olarak yayınlanır.

Taranmakta olunan indeks:



Baş Editör:

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Editör:

Dr. Çağrı AVAN

Dr. Gökhan EKİNCİOĞLU

Dr. Şerife ÖZATA

Dr. Utku ZEYBEKOĞLU

Kastamonu Ölçme Değerlendirme Merkezi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Sinop Üniversitesi

Editör Kurulu:

Prof. Dr. Uğur ÖZCAN

Prof. Dr. Bahattin AYDINLI

Prof. Dr. Mustafa KURT

Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Prof. Dr. Savaş CANBULAT

Prof. Dr. Serkan URANBEY

Prof. Dr. Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Abdullah CANDAN

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Doç. Dr. Ali SAYGIN

Doç. Dr. Arzuhan Burcu GULTEKİN

Doç. Dr. Burak ARICAK

Doç. Dr. Cennet YAMAN

Doç. Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN

Doç. Dr. Gökhan SURUCU

Doç. Dr. Hüseyin Turan ARAT

Doç. Dr. Lenka KOURIMSKÁ

Doç. Dr. Arch. Milena Nanova

Doç. Dr. Arch. Panayot SAVOV

Doç. Dr. Arch. Sonia PARVANOVA-YONCHEVA

Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Doç. Dr. Süleyman GÖKÇE

Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK

Dr. Öğretim Üyesi Adem AHISKALI

Dr. Öğretim Üyesi Ali Kemal ÇAKIR

Dr. Öğretim Üyesi Asude ÇAVUŞ

Dr. Öğretim Üyesi Arzu ÇAĞLAR

Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR

Dr. Öğretim Üyesi Emin Sertaç ARI

Dr. Guang-jie Zhao

Dr. Öğretim Üyesi Melis ALPASLAN TAKAN

Dr. Mohamad Mazen HAMOUD-AGHA

Dr. Öğretim Üyesi Reza ABDİ

Dr. Öğretim Üyesi Tahir AKGÜL

Gazi Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Marmara Üniversitesi

Ege Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Ankara Üniversitesi

Süleyman Demirel Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Bursa Teknik Üniversitesi

Yozgat Bozok Üniversitesi

Pamukkale Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Sinop Üniversitesi

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

Gazi Üniversitesi

Bayburt Üniversitesi

İskenderun Teknik Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Beijing Forestry University

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Institute Polytechnique UnilaSalle

University of Bonab

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Sayı Hakemleri:

Dr. Adem AHISKALI	KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
Dr. Arzu ÇAĞLAR	KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
Dr. Ayşe YILDIRIM ATEŞ	AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Barış ERDİL	VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTY
Dr. Behcet DÜNDAR	OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
Dr. Berrin KÜÇÜKCAN	İSTANBUL 29 MAYIS ÜNİVERSİTESİ
Dr. Ebru DOĞAN	MALATYA TURGUT OZAL UNIVERSITY
Dr. Elif Merve ERTURAN	KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN	PAMUKKALE UNIVERSITY
Dr. Gonca ÖZER	BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
Dr. Gökhan EKİNCİOĞLU	AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
Dr. Gülçin BAYSAL	ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Hakan ULUTAŞ	MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
Dr. Hüseyin KOYMATCIK	DOĞUŞ DÖKÜM MAZLEMELERİ AŞ.
Dr. Kadri AKÇALI	BARTIN ÜNİVERSİTESİ
Dr. Leyla YEKDANE TOKMAN	ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Meryem GEÇİMLİ	KAHRAMANMARAŞ İSTİKLAL ÜNİVERSİTESİ
Dr. Osman Çulha	MANİSA CELÂL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Dr. Selim CEMALGİL	MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
Dr. Sertac ORUC	KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
Dr. Servet KARASU	RECEP TAYYIP ERDOGAN UNIVERSITY
Dr. Sinan NACAR	TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
Dr. Terane BURNAK	ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Utku ZEYBEKOĞLU	SİNOP ÜNİVERSİTESİ
Dr. Uğur DEMİRBAĞ	ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
Dr. Uğur ÇAVDAR	İZMİR DEMOKRASİ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Vahdettin DEMİR	KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
Dr. Yusuf Tahir ALTUNCI	ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
Dr. Zeynep FIRAT ALEMDAR	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Dr. Çağrı YALÇIN	KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
Dr. İldem AYTAR SEVER	MIMAR SINAN FINE ARTS UNIVERSITY

Zorlu Ortam Koşullarında Çalışan Bilgisayarlar için Geliştirilen Peltier Etki ile Soğutulan Sıvı Soğutma Sisteminin Fanlı Soğutma Sistemi ile Karşılaştırılması

Comparison of the Peltier Effect Cooled Liquid Cooling System Developed for Computers Operating in Harsh Environment Conditions with the Fan Cooling System

Mehmet Şahin^{1*}, Hakan IŞIK²

^{1*} Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye

² Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye

ÖZET

Günümüzde kullanım alanları artan bilgisayar sistemleri çeşitli sorunları da beraberinde getirmiştir. Yüksek işlem gücü elde etmek için işlemcilerin elektronik bileşenleri daha sıkı yapılar haline getirilmektedir. Bu durumda ısının uzaklaştırılması önemli bir sorundur. Yarıiletken malzemelerin sıcaklıklarının artması daha yüksek güç tüketimlerine ve kararlı yapılarının bozulmasına sebep olmaktadır. Bilgisayar işlemcilerinin soğutulması amacıyla geliştirilen fanlı soğutma sistemleri bilgisayarın bulunduğu ortamın toz ve sıcaklık gibi çevresel şartlarından etkilenmektedir. Klimalı soğutma sistemlerinin çevreye zararlı gazlar yayması bilgisayar soğutma sistemlerinin geliştirilmesinde araştırmacıları yeni yöntemlere yönlendirmiştir. Bu çalışmada; peltier etki ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin, fanlı soğutma sistemine göre 2511 MHz saat hızında %40, 2745 MHz saat hızında %24 oranında soğutma verimliliği sağladığı görülmüştür. Yapılan deneylerde peltier etkisi ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin fanlı soğutma sistemine göre %32,85 oranında daha fazla güç tükettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fanlı soğutma, işlemci soğutma, peltier etki, sıvı soğutma, yarıiletken malzemeler.

ABSTRACT

The increasing use of computer systems in various fields has brought along various challenges. To achieve higher processing power, electronic components of processors are being made more compact. In this case, heat dissipation becomes a crucial issue. The rising temperatures of semiconductor materials lead to higher power consumption and the degradation of their stability. Fan cooling systems, developed for the purpose of cooling computer processors, are affected by environmental conditions such as dust and ambient temperature. The emission of harmful gases by air conditioning cooling systems has prompted researchers to explore new methods for computer cooling systems. In this study, it has been observed that a liquid cooling system cooled by the Peltier effect provides 40% cooling efficiency at a clock speed of 2511 MHz and 24% cooling efficiency at a clock speed of 2745 MHz compared to the fan cooling system. The experiments revealed that the liquid cooling system cooled by the Peltier effect consumes 32.85% more power than the fan cooling system.

Keywords: Fan cooling, liquid cooling, peltier effect, processor cooling, semiconductor materials

Başvuru: 22.06.2023 Revizyon Talebi: 11.07.2023 Son Revizyon: 11.07.2023 Kabul: 18.07.2023

Doi: 10.51764/smutgd.1318383

^{1*}Sorumlu yazar: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Konya, Türkiye; E-mail: cee.sahin@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2713-217X

² E-mail: hisik@selcuk.edu.tr; ORCID: 0000-0001-7066-6287

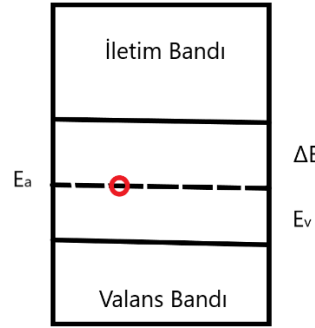
1. GİRİŞ

Günümüzde bilgisayar teknolojileri, yaşamsal ihtiyaçlarımızın karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Üretim, haberleşme, eğitim, ticaret, ulaşım ve eğlence sektörlerinde bilgisayarların yaygınlaşması ve kullanım yoğunluğunun arttığı gözlemlenmektedir. Bu artan talep ve beklentiler, yüksek işlem gücü ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Yüksek işlem gücü sağlamak için daha yoğun ve sıkı yapıya sahip bilgisayarlar üretilmesi gerekmektedir. Bu yoğunlaştırma işlemleri, elektronik bileşenlerin iç yapısında fiziksel sorunları beraberinde getirmiştir (Barbosa et al., 2022).

Elektronik bileşenlerin iç yapısındaki sıkılaştırmalar ısı sorunlarının giderilebilmesi için araştırmacıları yeni çözüm arayışlarına yönlendirmiştir. Sıcaklık; atomların ve elektronların enerji kazanarak hareket etmeleri sonucunda ortaya çıkan fiziksel bir büyüklüktür. Yarıiletken veya iletken malzemelerde elektron akışı gerçekleşirken, elektronların hareketi ortamın ısınmasına neden olur. Isı, atom ve elektronların kinetik ve potansiyel enerjileri olarak depolanır. Yarıiletken malzemelerde, değerlik bandındaki elektronlar iletim bandına 0 kelvin (mutlak sıfır) sıcaklıkta geçemezler (Aydoğan, 2015).

$$\Delta E = E_a - E_v$$

Denklem 1



Şekil 1.1. Yarıiletken malzemede elektronun konumu

N-tipi yarıiletken malzemelerin yapısı gereği kovalent bağa katılmayan E_v enerjili elektronlar bulunmaktadır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi bu elektronlar iletim bandı ile valans bandı arasında konumlanmaktadır. Valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçmesi için E_a kadar enerji gerekmektedir. N-tipi yarıiletken malzemelerde kovalent bağa katılmayan elektronların enerjisi iletim bandına yakın olduğu için sıcaklıktan daha fazla etkilenmektedir. Denklem 1 incelendiğinde n-tipi yarıiletken malzemede bir elektronun iletim bandına geçmesi için gereken enerjinin E_a enerjisinden daha az olduğu görülmektedir. Yarıiletken malzemeler, ısı emdikçe iç enerjileri artar ve kovalent bağa katılmayan elektronlardan, ΔE kadar enerjiye maruz kalan elektronlar hareketlenerek iletim bandına geçer. Sıcaklığın artmasıyla yarıiletken malzemelerde değerlik bandından iletim bandına daha fazla elektron geçişi gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklar, yarıiletken malzemenin daha fazla elektron geçişine izin vererek elektronik malzemelerin güvenilirliğini azaltır. Bu bağlamda, yüksek sıcaklıkların yarıiletken malzemelerdeki elektron geçişlerini etkileyerek elektronik cihazların güvenilirliğini azalttığı söylenebilir. Soğutma yöntemleri ve termal yönetim stratejileri yarıiletken malzemelerin çalışma sıcaklıklarını kontrol altında tutarak elektronik cihazların performansını ve güvenilirliğini optimize etmeyi amaçlar (Onaran, 1995).

CPU mimarisindeki gelişmeler, transistörlerin iç yapısında değişikliklere yol açmıştır. Transistörler, p ve n tipi yarıiletken malzemelerden oluşan elektronik bileşenlerdir. Ancak; daha fazla transistör yerleştirilme işlemi yarıiletken malzemelerin özelliklerini kaybetmeden gerçekleştirilebilir. Bu durum, işlemcilerin gelişiminde önemli bir engel teşkil etmektedir. CPU'nun işlem yapması sonucu ortaya çıkan ısının etkin bir şekilde emilmesi gerekmektedir. İşlemciden ısının uzaklaştırılmaması durumunda işlemci verimliliğinde ve kararlılığında düşüşler yaşanabilir. Çok çekirdekli işlemcilerde çekirdeklerin eşit işlem yapmaması sebebi ile çekirdekler arasında sıcaklık farklılıkları oluşabilir. İşlem yükü fazla olması sebebi ile diğer çekirdeklere göre çok ısınan çekirdeğin aşırı soğutulması diğer çekirdeklerin daha fazla soğumasına sebep olabilir. Bu durum CPU'da güvenilirliği düşürmektedir. CPU soğutma sistemleri tasarlanırken en sıcak çekirdeği yeterince soğuturken soğuk olan çekirdeklerinde aşırı soğuması engellenmelidir. CPU ile ısı emici birim arasında ısı transferinin dengeli ve etkili yapılabilmesi için CPU çekirdeklerinden ısıyı emen ve yayan IHS katmanına termal macunun dengeli bir şekilde yayılması ısı emicinin verimliliğini arttıracak ve çekirdeklerin daha dengeli soğumasını sağlayacaktır (Elliott et al., 2022).

Kapalı devre sıvı soğutma sistemleri ısıyı emme bloğundan alıp soğutma bloğuna aktararak ısı taşıma işlemini gerçekleştirir. Soğutma bloğunda soğutma işlemi havalı soğutma sistemi ile yapılabileceği gibi termoelektrik modül kullanılarak da yapılabilmektedir. Termoelektrik modülün yüzeyinin biri soğurken diğer yüzey ısınmaktadır. Soğutma işlemi, dar alandan geniş alana geçen elektronların salınımı sonucu bir yüzeyin ısısının emilerek diğer yüzeye aktarılması ile sağlanmaktadır. Mekanik aksam içeren soğutma sistemlerinin bakımının zor olması ve ömrünün kısa olması termoelektrik modül kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Termoelektrik modül daha az gürültü oluşturmakta, mekanik malzemelere göre daha uzun ömürlü olmakta ve bakımı daha kolay yapılabilmektedir (Erkol & Demirel, 2012).

Bu makalenin amacı, bilgisayar işlemcilerinin soğutulmasında fanlı soğutma sistemi ve peltier etkisiyle soğutulan sıvı soğutma sistemi gibi yöntemlerin performansını karşılaştırmak ve analiz etmektir. Sıcaklık düşürme kapasitesi, enerji verimliliği gibi faktörler açısından bu iki soğutma yöntemi arasındaki farkları inceleyeceğiz.

Bu çalışmada AMD Athlon 4850E işlemcisi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. 24°C ortam sıcaklığında AMD firmasının AMD Athlon 4850E işlemcisi için ürettiği fanlı soğutma sistemi ve termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemi karşılaştırılmıştır. Deneylerde işlemcinin hızının sıcaklığa etkisi, soğutma sistemlerinin güç tüketimleri ve soğutma sistemlerinin sıcaklık emme kapasiteleri incelenmiştir. Bu veriler, her iki soğutma sisteminin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Yapılan deneyler, fanlı soğutma sisteminin sınırlamalarına alternatif bir soğutma yöntemi olarak termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin kullanılabilirliğini ve daha iyi soğutma performansı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Fanlı Soğutma Sistemi

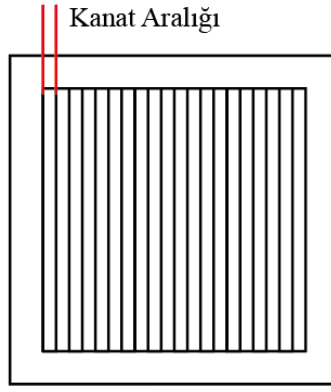
Fanlı soğutma sistemleri alüminyum veya bakır bloklardan veya her ikisinin bileşiminden üretilir. Temel amaç ısının işlemciden alınarak daha geniş yüzey alanına yayılması ve bu yüzey alanından ısının uzaklaştırılmasıdır. İşlemciden sıcaklığın hızlı emilmesi işlemcinin güç tüketimini olumlu yönde etkileyebileceği için çeşitli soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Bazı işlemci soğutucuları ısı borusu bileşeni içerir. Isı borulu fanlı soğutma sistemlerinin soğutma verimliliği ısı borusu olmayan soğutma sistemlerine göre yüksektir. CPU'da artan sıcaklık güç tüketimini arttırmaktadır. Isı borulu soğutma sistemleri bakır soğutucu bloklarla kıyas edildiğinde, güç tüketimini %13 azaltmaktadır (Zhu et al., 2017).

Fanlı işlemci soğutma sistemleri bilgisayar kasasının içindeki hava ile bilgisayar işlemcisini soğutmaktadır. Bilgisayar kasasının içindeki havanın sıcaklığı işlemcinin soğutulma performansını etkilemektedir. Bilgisayar kasalarının iç ortamındaki sıcak havanın uzaklaştırılması ve içeriye soğuk havanın alınması fanlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar kasasına dış ortamdan hava girişi esnasında toz girmektedir ve bilgisayarın iç ortamındaki elektronik bileşenlerin üzerine yapışarak katman oluşturmaktadır. Bu sebeple bilgisayar sistemlerinin soğutma performansı düşmekte, güç tüketimi artmakta ve düzenli bakım gerektirmektedir.

2.2. Peltier Etkisiyle Soğutulan Sıvı Soğutma Sistemi

Termoelektrik modüllü soğutucular yarıiletken malzemelerle oluşturulmaktadır. P-tipi ve n-tipi yarıiletken malzemeler elektrik iletimi yönünden seri, ısı iletimi yönünden paralel bağlanarak peltier etkili soğutma sistemleri elde edilmektedir. Termoelektrik modüllerde, pozitif yük taşıyan ve negatif yük taşıyan yarıiletken malzemeler akımın yönünü belirler. Termoelektrik modüllerde elektron akışı bir yüzeyin ısınmasına, karşıt yüzeyin soğumasına sebep olacaktır (Zhu et al., 2013).

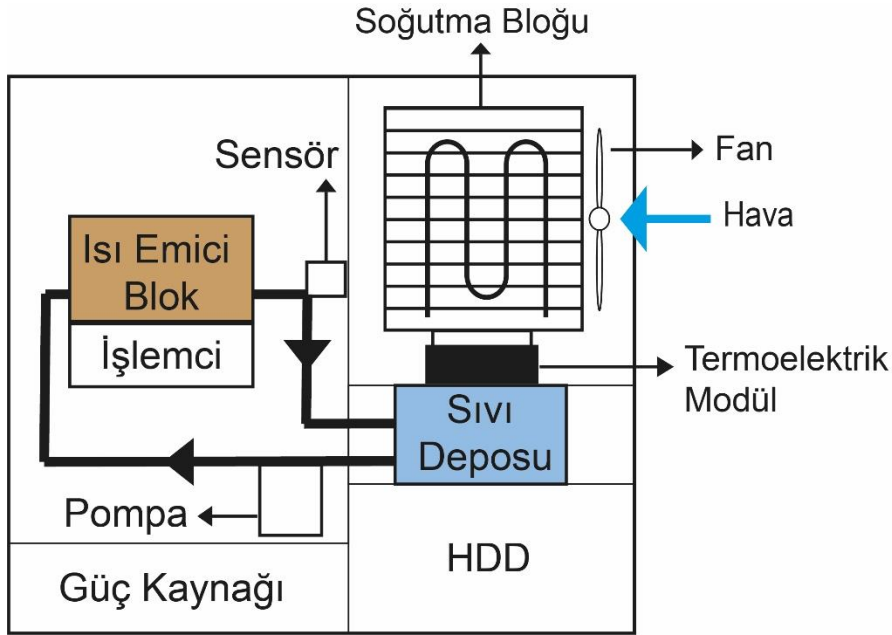
Sıvı soğutma sistemlerinde ısının IHS katmanından daha etkili emilebilmesi için sıvının temas ettiği soğutucu bloğun tasarımı önemlidir. Jajja ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada soğutma sıvısının temas ettiği yüzeydeki kanatçıkların düz yüzeye göre ısıyı daha etkili emdiği belirtilmiştir. Şekil 2.1'de ısı emici bloğun su ile temas ettiği yüzeyin yapısı görülmektedir. Kanatçıkların aralığının ve kanatçıkların kalınlıklarının inceltmesi mevcut yüzeye daha fazla kanatçık yerleştirilmesini sağlayacaktır. Bu durum sıvı ile temas eden yüzeyin genişlemesini sağlayacak ve soğutma sıvısının ısı emme kabiliyetini arttıracaktır (Jajja et al., 2014).



Şekil 2.1. İşlemci ile temas eden ısı emici bloğun soğutma sıvısı ile temas ettiği yüzey

Peltier etkisi ile soğutma sisteminin verimliliğini inceleyen Tan ve arkadaşları peltier etkisi ile soğutulan sıvı soğutma sistemini fanlı soğutma sistemi ve sıvı soğutma sistemi ile karşılaştırmışlardır. Peltier etkisi ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin diğer soğutma sistemlerine göre daha etkili olduğunu belirtmişlerdir (Tan & Demirel, 2015).

Zorlu ortam şartlarından olan toz ve sıvı gibi elektronik sistemlere zarar verebilecek ortamlarda bilgisayarın iç bileşenlerinin dış ortandan izole edilmesi önem kazanmaktadır. Ev, ofis gibi günlük yaşam alanlarımızda bilgisayar soğutma sistemlerinin gürültüsü insanları rahatsız etmektedir. Geliştirilen soğutma sistemi bilgisayarın elektronik bileşenlerini dış ortandan izole ederek toz gibi çevresel kirliliklerin elektronik bileşenlerin üzerine yapışarak katman oluşturup soğutma verimliliğinin düşmesini engellemeyi amaçlamıştır.



Şekil 2.2. Peltier etki ile soğutulan sıvı soğutma sistemi şeması

Şekil 2.2'de geliştirilen soğutma sisteminin şeması görülmektedir. Termoelektrik modül ve termoelektrik modülü soğutan fan, soğutma sistemi bölümüne yerleştirilmiştir. Soğutma sistemi bölümü diğer bölümlerden izole edilmiştir ancak termoelektrik modülün sıcaklığının uzaklaştırılabilmesi için soğutma sistemi bölümü dış ortama açıktır. Peltier etki ile sıvı deposu bölümündeki su soğutulmaktadır.

Peltier etkisi ile soğutulan su, devridaim pompası ile işlemci üzerindeki ısı emici bloğa iletilmektedir. Isı emici blok bakır metalinden yapılmıştır. Devridaim ile gelen soğutulmuş su, bakır metalinden yapılmış ısı emici blok ile temas ederek bloktaki ısıyı uzaklaştırmaktadır.



Şekil 2.3. Termoelektrik modüllü sıvı soğutma sistemi ile soğutulan bilgisayar kasası

Şekil 2.3'te peltier etkisi ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin bilgisayar kasasına montajlanmış hali görülmektedir. Bu yapı bilgisayar sisteminin elektronik bileşenlerini tozdan korumaktadır. Zorlu ortam koşullarında işlemcinin uygun sıcaklık aralığında çalışmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Geliştirilen soğutma sistemi ile 24 °C ortam sıcaklığında testler yapılmıştır. AMD Athlon 4850E işlemcisinin fabrika verilerine göre en yüksek çalışma sıcaklığı olan 78 °C'tır. Termoelektrik modüllü sıvı soğutma sistemi, fanlı soğutma sistemine göre daha yüksek güç tüketmiş ancak işlemcinin fabrika verilerine göre istenilen sıcaklık aralığında kalmasını sağlamıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

AMD Athlon 4850E işlemcisi; 24°C ortam sıcaklığında, AMD firması tarafından üretilen fanlı soğutma sistemi ve 1 adet 12706 termoelektrik modül kullanılarak soğutulan sıvı soğutma sistemi ile soğutulmuştur. 4 adet deney yapılarak her iki soğutma sistemi değerlendirilmiştir. Deneylerde Maxon Computer Inc. tarafından geliştirilen Cinebench programı ve Franck Delattre tarafından geliştirilen CPU-Z programı kullanılmıştır. Cinebench programı 3 boyutlu tasarlanan sahnenin görsel çözümüleme işlemini yapmaktadır. Cinebench programı ile yapılan testlerde sahne çözümüleme işlemine göre sonuç alınmaktadır. İşlemcinin çözümüleme hızının artması elde edilen puanın artmasını sağlamaktadır. CPU-Z programı işlemcinin hız, gerilim gibi özelliklerini göstermekte ve işlemciyi %100 oranda çalıştırma aracı barındırmaktadır (Cinebench, 2023; Delattre, 2023)

Soğutma sisteminde kullanılan termoelektrik modülün özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. 12706 termoelektrik modül özellikleri

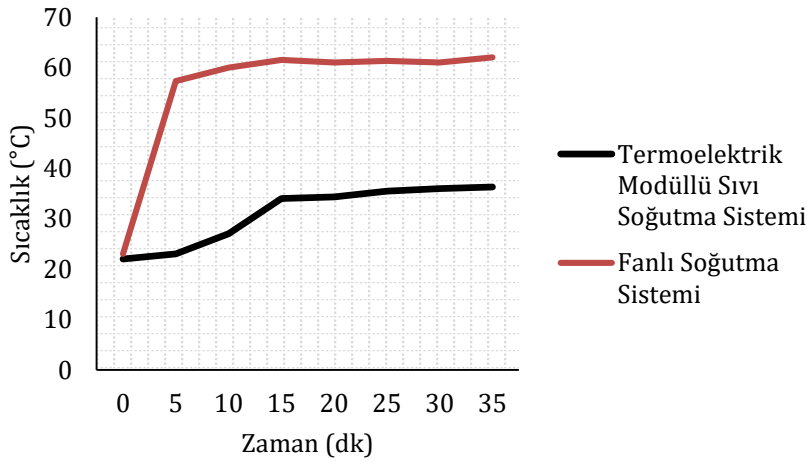
Boyut:	40 x 40 x 3,9 mm
Ağırlık:	27 gr
I_{max}:	6,4 A
U_{max}:	15,4 V
ΔT:	68 °C

Termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sisteminde termoelektrik modülün ısınan kısmı Tablo 4'te özellikleri belirtilen soğutma bloğu ile soğutulmuştur.

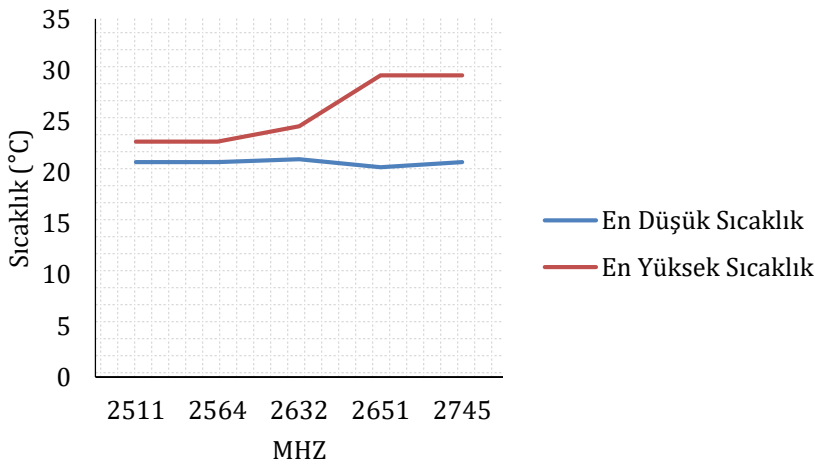
Tablo 4. Termoelektrik modül soğutucu özellikleri

Soğutma bloğu boyutu:	128 (boy) x 80 (en) x 155 (yükseklik)mm
İçerik:	Yapraklar alüminyum, ısı boruları bakır
Fan boyutu:	120 x 120 x 25 mm
Fan hızı:	1300 rpm
Fan hava akış miktarı:	48 cfm

Deney 1: İşlemci %100 performansla çalıştırılarak Şekil 3.1'deki sonuç elde edilmiştir. Peltier etkisi ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin ısıyı daha hızlı emdiği ve işlemciyi daha düşük sıcaklıkta tuttuğu gözlemlenmiştir. İşlemci hızı 2511 MHz olarak ölçülmüştür. Cinebench programı ile yapılan hız testinde her iki soğutma sistemi ile soğutulan işlemci 98 cb puan almıştır. Cinebench programı ile yapılan testte, her iki soğutma sisteminin işlemci performansına herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

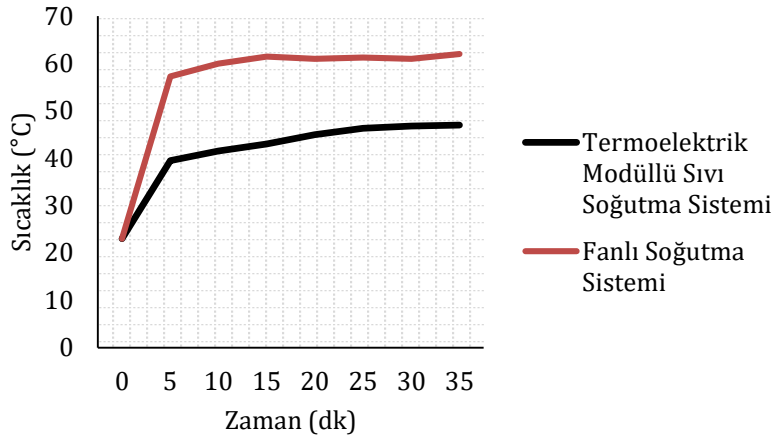
**Şekil 3.1.** Soğutma sistemlerinin işlemci sıcaklığına etkisi

Deney 2: AMD Athlon 4850E işlemcisine hız aşırma yapılarak peltier etki ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin ısı emme performansı test edilmiştir. Termoelektrik modüle 12V 2.85A güç uygulanmıştır. Bu deney Windows 7 işletim sistemi haricinde herhangi bir uygulama çalıştırılmadan yapılmıştır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi hız aşırma yapılan işlemcide saat hızı yükseltildikçe işlemci sıcaklığının yükseldiği görülmüştür.

**Şekil 3.2.** İşlemci saat hızının sıcaklığa etkisi

Deney 3: Bu deneyde AMD Athlon 4850E işlemcisi CPU-Z programı aracılığı ile %100 performansla çalıştırılmıştır. İşlemci 2511 MHz saat hızında fanlı soğutma sistemi ile soğutulmuş ve sıcaklık takibi yapılmıştır. 35 dakika yapılan performans testinin ardından işlemciden fanlı soğutma sistemi sökülerek yerine termoelektrik modül ile soğutulan

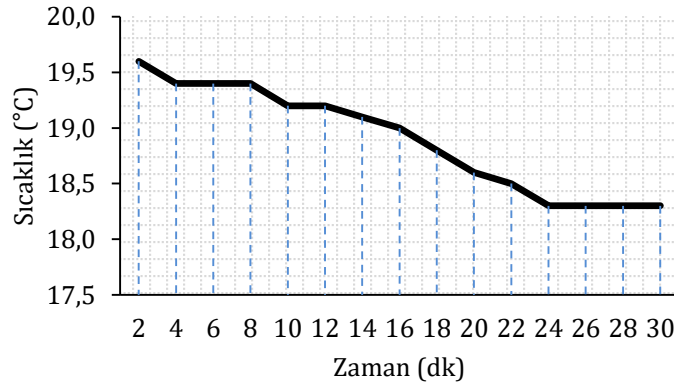
sıvı soğutma sistemi takılmıştır. İşlemci saat hızı %9,31 oranında artırılarak 2745 MHz 'ye yükseltilerek 35 dakika performans testi yapılmıştır.



Şekil 3.3. Soğutma sistemlerinin işlemcideki sıcaklık değişimine etkisi

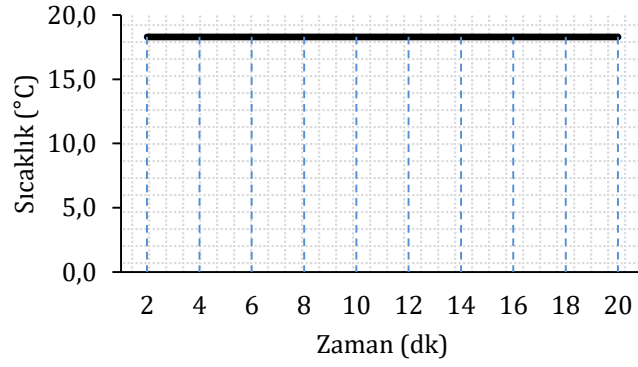
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi termoelektrik modüllü sıvı soğutma sistemi, fanlı soğutma sistemine göre işlemciden ısıyı daha etkili bir şekilde emmektedir. 35 dakika yapılan performans testinin ardından her iki soğutma sistemi ile soğutulan işlemciye Cinebench programı ile test yapılmıştır. Fanlı soğutma sistemi ile soğutulan ve 2511 MHz saat hızında çalıştırılan işlemci 98 cb puan almıştır. Termoelektrik modüllü sıvı soğutma sistemi ile soğutulan ve 2745 MHz saat hızında çalıştırılan işlemci 107cb puan almıştır.

Deney 4: Bu deneyde soğutma sıvısının devridaim hızının işlemciden ısı emme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Bilgisayarda Windows 7 haricinde herhangi bir program çalıştırılmadan testler yapılmıştır.



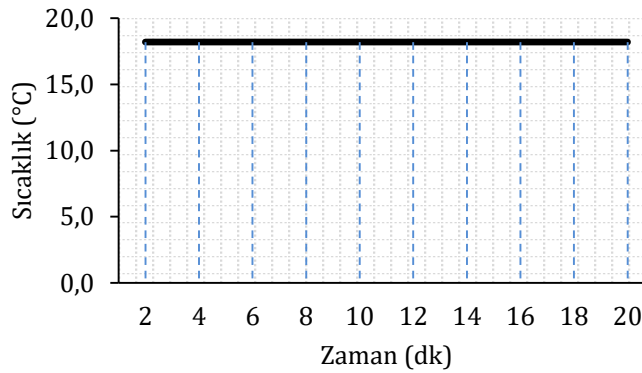
Şekil 3.4. Devridaim hızı 240 litre/saat, termoelektrik modül güç tüketimi 12V 2,85A

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi 240 litre/saat devridaim hızında 12V 2,85A güç uygulanan peltier etkili soğutma sistemi, 24 dakikalık sürecin ardından soğutma sıvısının sıcaklığını 18,3 °C sıcaklığa düşürmüştür. 30 dakika yapılan testin ardından soğutma sıvısının devridaim hızı 140 litre/saat olacak şekilde düşürülerek 20 dakika süresince soğutma sıvısının sıcaklığı gözlemlenmiştir. 20 dakikalık süreçte soğutma sıvısının sıcaklığının değişmediği görülmüştür.



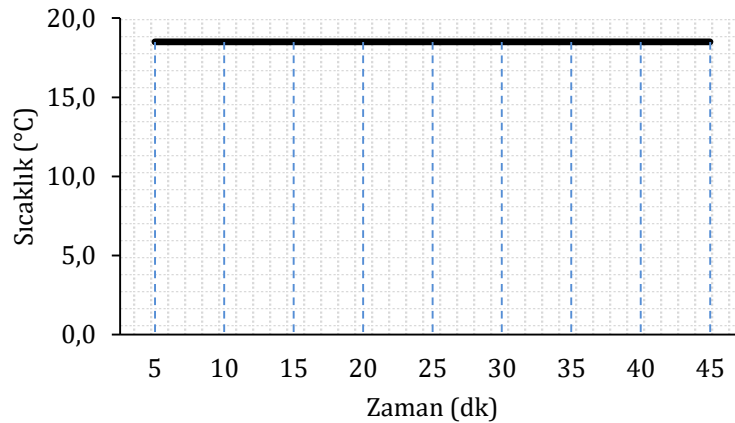
Şekil 3.5. Devridaim hızı 140 litre/saat, termoelektrik modül güç tüketimi 12V 2,85A

Şekil 3.5'deki sonucun ardından soğutma sıvısının devridaim hızı sabit tutularak termoelektrik modüle uygulanan güç 5V 1,14A olacak şekilde düşürülmüştür. 20 dakikalık süreçte Şekil 3.6'da görüldüğü gibi soğutma sıvısının sıcaklığında herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.6. Devridaim hızı 140 litre/saat, termoelektrik modül güç tüketimi 5V 1,14A

Şekil 3.6'da görülen sürecin ardından devridaim hızı 80 litre/saat olacak şekilde düşürülmüş ve termoelektrik modülün tükettiği güçte değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 3.7. Devridaim hızı 80 litre/saat, termoelektrik modül güç tüketimi 5V 1,14A

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi 45 dakikalık süreçte soğutma sıvısının sıcaklığında herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir. AMD Athlon 4850E işlemcisi üretici verilerine göre 45 watt miktarında ısı üretebilmektedir. Sadece Windows 7 çalıştırılarak yapılan deneylerde; 5V 1,14A güç uygulanan termoelektrik modülün soğuttuğu suyun, 80 litre/saat devridaim hızıyla AMD Athlon 4850E işlemcisini başarılı şekilde soğuttuğu görülmüştür.

Fanlı soğutma sistemi ve termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemi incelendiğinde sıvı soğutma sisteminin fanlı soğutma sistemine göre ısı emme verimliliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. AMD Athlon

4850E işlemcisi; 2511 MHz saat hızında %100 kullanım oranında 24 °C ortam sıcaklığında çalıştırılarak deney yapılmıştır. Yapılan deneyde fanlı soğutma sistemi ile en fazla 62 °C sıcaklığa ulaşan işlemci termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemi ile en fazla 36,3 °C sıcaklığa ulaşmıştır. İşlemci saat hızı 2745 MHz 'ye çıkartıldığında işlemci sıcaklığının en fazla 47 °C sıcaklığa ulaştığı görülmüştür.

Fanlı soğutma sistemlerinin başlıca sorunları;

- Kasanın içinde zamanla ısınan havanın soğutma amaçlı kullanılması,
- Dış ortamdan soğuk hava alınırken toz gibi partiküllerin kasanın içine alınması,
- Kasa içine alınan havanın sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olması,
- Toz ve nem gibi etkenlerin zamanla elektronik parçalar üzerinde katman oluşturması sebebi ile ısının elektronik parçalardan uzaklaştırılmasının zorlaşması,
- Zorlu koşullarda çalışan bilgisayarların iç donanımlarında oluşan toz gibi etkenlerin uzaklaştırılabilmesi için düzenli bakım gerektirmesidir.

Termoelektrik modül içeren sıvı soğutma sisteminin başlıca sorunları;

- Sıvı sızıntısı,
- Termoelektrik modülün güç tüketiminin fazla oluşu,
- Elektronik bileşenlerin bakımının zorluğu,
- Soğutma sistemine sıvı eklendikten sonra sistemdeki havanın çıkartılmasının zorluğu,
- Sıvı sızıntısının elektronik bileşenlere zarar verme riskinin bulunması,
- Soğutma sisteminin montajında çok fazla ekipmana ve bağlantı elemanına ihtiyacının olmasıdır.

Fanlı soğutma sistemlerinin dezavantajları bilgisayar sistemlerinde arızalara, ekonomik kayıplara ve bakım zorluklarına sebep olmaktadır. Bilgisayarların bulunduğu ortamdan yalıtılarak soğutulması bu sorunları ortadan kaldıracaktır. Termoelektrik modüllerin ömrü fanlı soğutma sistemlerinin ömrüne göre daha uzundur ve bakım gerektirmez. Termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemleri; veri depolama merkezleri, dış ortamda çalışan bilgisayarlar, sanayi makineleri, su altı araçları, şehir sistemleri ve arazi araçları gibi zorlu ortam koşullarında çalışan bilgisayar sistemlerinde tercih edilebilir.

Termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sisteminde termoelektrik malzemenin etrafı sıvı sızdırmaz silikon ile yalıtılarak sıvı sızıntısı engellenmiştir. Soğutulmuş sıvının depolandığı modül akrilik pleksi yapıştırıcı ile yapıştırıldığı için basınç altında sıvı sızıntılarının olduğu görülmüştür. Bilgisayar kahasındaki donanım değişiklikleri esnasında sıvı devridaimini sağlayan hortumların hareket ettirilmesi ve gerektiğinde sökülmesi sıvı sızıntılarına yol açmıştır. Sıvı soğutma sisteminin ilk kurulumu ve bilgisayar iç donanımlarında yapılacak değişiklikler sıvı soğutma sisteminde kullanılan ekipmanların çokluğu sebebi ile fanlı soğutma sistemine göre daha zor olmaktadır.

4. SONUÇ

Çalışma sonucunda termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemi ile fanlı soğutma sistemi karşılaştırılmıştır. Termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemi 2511 MHz saat hızında %40 civarında soğutma verimliliği sağlarken, 2575 MHz saat hızında %24 soğutma verimliliği sağlanabilmiştir. Termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemi ile işlemci performansı %9,1 oranında arttırılabilmektedir. Yapılan deneylerde peltier etki ile soğutulan sıvı soğutma sistemi, zorlu çevre koşullarında bilgisayarın iç donanımlarının toz gibi kirlilikten yalıtılarak bilgisayar sistemini soğutulabilmektedir.

Bilgisayar işlemcisi %100 oranında çalıştırılarak fanlı soğutma sisteminin ve termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sisteminin güç tüketim verimliliği incelenmiştir. Termoelektrik modül ile soğutulan sıvı soğutma sistemi ile işlemci performansı %9,1 oranında arttırılabılırken, güç tüketimi %32,85 oranında artmıştır. Termoelektrik modülün soğutma esnasında çevreye zararlı gazlar bırakmaması termoelektrik modüllü sıvı soğutma sistemini; kloroflorokarbon (CFC) ve hidrokloroflorokarbon (HCFC) içerikli soğutma sistemlerine göre daha çevreci yapmaktadır.

Ortam sıcaklığının, soğutma sisteminde devridaim eden sıvının sıcaklığından düşük olduğu durumlarda devridaim eden sıvının önce radyatör yardımı ile soğutulması ve sonrasında termoelektrik modül ile soğutulması güç tasarrufu sağlayacaktır.

Her geçen gün artan bilgisayar ihtiyacı bilgisayarların doğaya zarar vermeden soğutulması gereksinimlerini arttırmıştır. Bulut bilişim sistemlerinin yaygınlaşması ve ağ altyapısının iyileştirilmesi, bireysel ve kurumsal olarak daha düşük bilgisayar işlem gücü ile daha yüksek işlem kapasitesinin elde edilmesini sağlayacaktır. Bulut bilişim merkezlerindeki bilgisayarların termoelektrik modüllerle soğutulması çevreye zararlı gazların salınımını engelleyecektir. Bu çalışma termoelektrik modüllü sıvı soğutma sisteminin, fanlı soğutma sistemlerine göre ısıyı daha verimli uzaklaştırdığını ve klimalı soğutma sistemlerine göre çevreye duyarlı bir şekilde soğutma yapılabileceğini göstermektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Aydoğan, Ş. (2015). Katıhal Elektroniği. In (1 ed., pp. 1-15). Nobel Yayınları.
- Barbosa, J. G., Drummond, L. M. A., & Lefèvre, L. (2022). Special Issue on Computer Architecture and High-Performance Computing. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 168, 137-138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2022.06.013>
- Chang, Y.-W., Cheng, C.-H., Wu, W. F., & Chen, S.-L. (2007). An Experimental Investigation of Thermoelectric Air-Cooling Module. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 33.
- Cinebench. (2023). Retrieved 11 from <https://www.maxon.net/en/cinebench>
- Delattre, F. (2023). CPU-Z. Retrieved 11 from <https://www.cpubid.com/software/cpu-z.html>
- Elliott, J., Lebon, M., & Robinson, A. (2022). Optimising integrated heat spreaders with distributed heat transfer coefficients: A case study for CPU cooling. *Case Studies in Thermal Engineering*, 38, 102354.
- Erkol, O., & Demirel, H. (2012). TERMOELEKTRİK MALZEME İLE SEYYAR SU SOĞUTUCU UYGULAMASI. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 5(1), 16-20.
- Jajja, S. A., Ali, W., Ali, H. M., & Ali, A. M. (2014). Water cooled minichannel heat sinks for microprocessor cooling: Effect of fin spacing. *Applied thermal engineering*, 64(1-2), 76-82.
- Levin, I. I., Dordopulo, A., Doronchenko, Y., Raskladkin, M., Fedorov, A., & Kalyaev, Z. (2016). Immersion liquid cooling FPGA-based reconfigurable computer system. *IFAC-PapersOnLine*, 49(25), 366-371.
- Onaran, K. (1995). *Malzeme Bilimi* (12 ed.). Bilim ve Teknik Yayınevi.
- Tan, S. O., & Demirel, H. (2015). Performance and cooling efficiency of thermoelectric modules on server central processing unit and Northbridge. *Computers & Electrical Engineering*, 46, 46-55.
- Zhu, K., Zheng, M., Wang, B., Dai, B., Wang, Y., Wei, J., & Chen, X. (2017). Experimental study of energy saving performances in chip cooling by using heat sink with embedded heat pipe. *Energy Procedia*, 105, 5160-5165.
- Zhu, L., Tan, H., & Yu, J. (2013). Analysis on optimal heat exchanger size of thermoelectric cooler for electronic cooling applications. *Energy conversion and management*, 76, 685-690.

Mühendislik Kırşehir Yöresi Atık Mermer Tozunun Tuğlanın Özelliklerine Etkisi

The Effect of Waste Marble Powder on the Engineering Properties of the Brick in Kırşehir Region

Tamarah Zaid Kamil AL SHAMMARİ^{1*}, M. Mustafa Önal²

^{1*} Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bağbaşı Kampüsü, Kırşehir, Türkiye

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bağbaşı Kampüsü, Kırşehir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, Kırşehir yöresi atık mermer tozunun çevre dostu tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda atık mermer tozu kullanılarak fiziksel ve mekanik açıdan normal tuğlaya göre daha üstün özelliklere sahip çevre dostu tuğla üretimi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, killi toprak içerisine, Kırşehir yöresinden çıkarılan atık mermer tozu %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında ikame edilerek katkılu tuğla üretilmiştir. Üretilen numunelere, suya doygun birim hacim ağırlık, porozite, su emme (ağırlıkça), donma çözülme etkisi, sülfat etkisi, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, atık mermer tozu miktarının artmasıyla, suya doygun birim hacim ağırlığında azalma görülürken, porozite, su emme (ağırlıkça), donma çözülme etkisi, sülfat etkisi değerlerinde artış meydana gelmiştir. Mekanik deneylerde ise basınç dayanımı azalırken, eğilmede çekme dayanım değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca uygun miktarlarda (%10) atık mermer tozu ikamesinin tuğla özelliklerini iyileştirebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık mermer tozu, tuğla, fiziksel özellik, mekanik özellik, Kırşehir.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate the usability of waste marble dust from Kırşehir region in the production of environmentally friendly bricks. In line with this goal, it is aimed to produce environmentally friendly bricks with superior physical and mechanical properties compared to normal bricks by using waste marble dust. Within the scope of the study, blended brick was produced by substituting waste marble dust extracted from Kırşehir region at the rates of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. The water-saturated unit weight, porosity, water absorption (by weight), freeze-thaw effect, sulfate effect, compressive strength and bending tensile strength tests were performed on the produced samples. As a result, with the augment in the amount of waste marble dust, a reduce was observed in the saturated unit volume weight, while the values of porosity, water absorption (by weight), freeze-thaw effect and sulfate effect augmented. In the mechanical tests, it was defined that while the compressive strength reduced, the tensile strength value augmented in bending. In addition, it was concluded that appropriate amounts (10%) of waste marble dust substitute can improve brick properties.

Keywords: Waste marble dust, brick, physical properties, mechanical properties, Kırşehir.

1. INTRODUCTION

Nowadays, raw material shortage and high energy consumption have become a big problem for most industries due to the rapid augment in raw material consumption (Göl vd., 2023). The brick sector, which is one of these sectors, has a lot of problems in terms of raw materials and high energy consumption. Brick is an indispensable building material in the construction industry due to its low cost, high strength and easy use (Khitab and Anwar, 2016).

In the production of bricks, one of the oldest building materials, useful clay soil, which is important for growing valuable crops, is used (Demir, 2009; Okunade, 2008; Gorai, 2018). The use of clay bricks in adobe house construction dates back to 8000 BC (Bui et al., 2009; Calatan et al., 2020).

The main material of brick is clay (Nabikoğlu, 2017). Approximately 340 billion tons of clay is used annually for brick production (Pawar and Garud, 2014). As a result of the reduce of clay by using in brick production, erosion, reduce of water table etc. problems will be inevitable (Ramakrishnan et al., 2023).

The increasing use of clay as a raw material in production has resulted in an alarmingly high variance in this natural material (Zhan, 2014, Pawar and Garud, 2014). Therefore, it has led many researchers to find alternative sources or ways to recycle the waste generated by various industrial processes (Ramakrishnan et al., 2023; Göl et al., 2022).

As building and construction technologies require many natural resources, sustainable construction has been developed to preserve these resources, focusing on the reuse of industrial waste and by-products (Tahwia et al., 2021; Abdellatif et al., 2023).

As a result, marble powder (Ricardo et al., 2015), sludge from water treatment plants (Haniegal et al., 2020), fly ash (Murugesan et al., 2017), sugarcane bagasse (James and Pandian, 2017), rice husk ash (RHA) (Sutas, 2012; Manni et al., 2019; Andreola et al., 2021), waste glass powder (Peng et al., 2023; Zhang et al., 2023), sawdust (Olaiya et al., 2023), quarry powder (Padmalason et al., 2023; Nisa and Singh, 2023) and eggshell powder (Ngayakamo et al., 2020) are some waste materials used in brick production.

Within the scope of the study, waste marble powder was used as industrial waste. Marble powder wastes are stored in nature as sludge, which leads to environmental pollution and causes serious damage to the vegetation in the vicinity (Öztürk, 2018; Filiz et al., 2010).

All these were taken into consideration and the study aimed to investigate the usability of marble powder from Kırşehir region in the production of environmentally friendly bricks. As a result of the study, it was targeted to produce environmentally friendly bricks with superior physical and mechanical properties compared to standard bricks.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

2.1.1. Marble Powder

The samples of waste marble powder doped bricks produced within the study were taken from Kırşehir Granit Mermer A.Ş. located in Kırşehir city center. The grain density of the waste marble powder is 2.69 g/cm³. The chemical properties of the marble powder are presented in Table 1. The image of the waste marble powder with white color and 2 µ grain size is given in Figure 1.

Table 1. Chemical properties of waste marble powder

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
MT (%)	38,30	15,32	8,23	33,61	0,58



Figure 1. Waste marble powder**2.1.2. Clay Soil**

The waste marble powder added brick samples produced in the study were obtained from the central district of Kayseri province, which was used as raw material. The mineralogy of the clay soil examined at Erciyes University Central Research Laboratory is given in Table 2. It is seen that the highest proportion of the elements whose weight ratios are given in the table belongs to silicon. Silicon is followed by Oxygen Calcium and Aluminum.

Table 2. Mineralogical values of clay soil

Element	Si	O	Ca	Al	Fe	Nb	K	Mg
Weight (%)	38,63	22,78	14,92	9,48	6,01	6,21	2,58	2,97

2.1.3. Mixing Water

The mains water of Kayseri province, which does not contain organic matter and is potable, was preferred as the mixing water in the production of samples with waste marble powder doped.

2.2. Method**2.2.1. Production of samples**

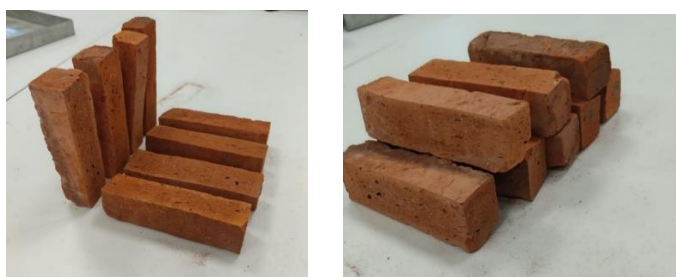
Clay soil, waste marble powder and mixing water were provided for the production of waste marble powder doped brick samples to be produced in the study and brought to the laboratory where the production will be carried out. Before being brought to the laboratory, the quartering method was used to extract the clay soil. Then, the clay soil was ground to a grain diameter of 2 μ with the help of a roller crusher. The waste marble powder obtained from the company was sieved through a 1 millimeter sieve and the undersize material was removed. The recipe given in Table 3 was prepared for the production of brick samples. REF given in the recipe means reference sample, WMP10 means brick sample with 10% waste marble powder doped, WMP20 means brick sample with 20% waste marble powder doped, WMP30 means brick sample with 30% waste marble powder doped, WMP40 means brick sample with 40% waste marble powder doped.

Table 3. Mixing Recipe

	Marble Waste (%)	Clay Soil (%)
REF	--	100
WMP10	10	90
WMP20	20	80
WMP30	30	70
WMP40	40	60

In the test study, the dry materials, clay soil and waste marble powder, were firstly mixed dry for 1 minute. Then the mixing water was gradually added to the dry mixture and mixed at low setting for 1.5 minutes and 1.5 minutes at high setting to obtain brick dough. The dough was placed in greased steel molds with dimensions of 4x4x16 cm.

Afterwards, 60 hits were applied to the moulds and compression was performed. After the compression process was completed, the samples were left in the mould for 24 hours. The semi-finished brick samples were then subtract from the mould and dried in a semi-open area for 48 hours. After drying, they were placed in the firing furnace and the furnace temperature was gradually augmented. The brick specimens were fired at 900 °C. The fired samples were cooled without removing them from the furnace. After the cooling process was completed, they were removed from the furnace (Figure 2) and physical and mechanical tests were performed.

**Figure 2.** Waste marble powder doped brick sample

2.2.2. Physical experiments

❖ Water Saturated Unit Volume Weight

The water saturated unit volume weights of the waste marble powder doped brick samples were based on the TS EN 772-4 standard. According to the standard, the brick samples were boiled in a container filled with water for about 3 hours. The suspended weights (P1) of the samples taken out of the water were defined. The water was then removed from the surface with a cloth and the water-saturated dry weights (P2) were determined. Finally, the samples were dried in an furnace at ± 105 oC for 1 day (P3) (Figure 3). All the values obtained were substituted into the equation below to obtain the water saturated unit volume weight.

$$\text{Water Saturated Unit Volume Weight (g/cm}^3\text{)} = P3/P2-P1$$



Figure 3. Drying the samples in an furnace

❖ Water Absorption (By Weight)

Another physical test applied to the samples was water absorption test. Within the scope of this test, the samples were left in the curing pool for 24 hours. At the end of one day, the outer surface of the samples taken out of the curing pool was wiped with a cloth and measured with a delicate balance (Psh). The samples were then dried in an furnace until they reached constant weight and then measured with a precision balance (P0). The values obtained were substituted in the formula below and the water absorption (by weight) value was found.

$$\text{Water Absorption (By Weight) } A_s = (Psh-P0)/P0$$

❖ Porosity

It values of the waste marble powder doped brick samples were based on TS EN 772-4 standard. According to the standard; the brick samples were boiled in a container filled with water for about 3 hours. The suspended weights (P1) of the samples taken out of the water were weighed. Then, the water was removed from the surface with the help of a cloth and the water saturated dry weights (P2) were defined. Finally, the samples were dried in an furnace at ± 105 oC for 1 day (P3). Porosity values were found by substituting all the values obtained in the equation given below.

$$\text{Porosity (\%)} = ((P2-P1) / (P2-P3)) \times 100$$

❖ Freeze-Thaw Effect

The freeze-thaw test of the samples produced within the scope of the study was carried out with the test device given in Figure 4.5. In the first step of the experiment, the samples were held in 20 oC water for 12 hours to become water saturated samples. In the second step, the samples taken out of the water were then placed in the device whose cooling rate could drop to -20 oC within 4 hours and kept at this temperature for 12 hours. In the third step, the samples were taken from the freezer and placed in water at 20 oC and kept for 12 hours. Special care was taken to ensure that no ice remained on the samples. These three steps represent a single cycle. This cycle can be repeated as many times as desired. Within the scope of the study, this cycle was repeated 25 times. At the end of the experiment, the samples were subjected to compressive strength test.

❖ Sulfate Effect

The sulfate effect test of waste marble powder doped brick samples was carried out based on ASTM C1012. According to the standard, the produced brick samples were left in a water-filled container with a 5% sulphate solution for 30 days. Finally, the samples were subjected to compressive strength test.

2.2.3. Mechanical experiments

❖ Compressive Strength

One of the experiments performed to define the mechanical properties of the samples is the compressive strength test. In the test, a constant amount of force is applied to the brick sample of certain dimensions by means of a pressure press device without impact. The force continues to be applied until the sample starts to break. The application is stopped at the moment of fracture. The compressive strength value is found by dividing the force value that causes the fracture of the brick sample, whose cross-sectional area was previously calculated, by the cross-sectional area. Figure 4 shows the compressive strength test device of the samples.



Figure 4. Compressive Strength

❖ Flexural Strength

Another test for the detection of mechanical properties is the flexural strength test. In the test, the simple beam method loaded from the centre point is applied to the sample. In this method, a singular load is applied to the sample at its centre point. Figure 5 shows the flexural strength test device of the samples.



Figure 5. Flexural Strength

3. RESEARCH RESULTS AND EVALUATION

3.1. Water Saturated Unit Volume Weight

This test values applied to the samples produced within the scope of the study are given in Figure 6. When the figure is analysed, it is detected that the addition of waste marble powder has a positive effect on the water saturated unit volume weight value of the brick. The water saturated unit volume weight values reduced with the augment in the amount of waste marble powder. The highest value was obtained from the reference sample with 2.08 g/cm^3 and the minimum value was obtained from the samples with 50% waste marble powder additive with 1.56 g/cm^3 .

It was defined that brick samples reduced at rates ranging from 4% to 25% with the substitution of waste marble powder. These rates were calculated to be 4%, 10%, 18%, 22% and 25%, respectively. This is thought to be due to the fact that the unit volume weight of waste marble powder is lower than the unit volume weight of clay. The reduce in the water saturated unit weight in brick samples is accepted as an indicator of the augment in the porosity of waste marble powder (Sütçü and Akkurt 2009).

When the studies in the literature are analysed; Eliche-Quesada et al. found that the water saturated unit volume weight of fired clay bricks containing 20% waste marble powder reduced up to 9%, Münir et al. found that 25% waste marble powder reduced the water saturated unit volume weight of brick samples by 15%. In addition, Dhanapandian et al., Aydın and Karakurt obtained similar results to the study in their study.

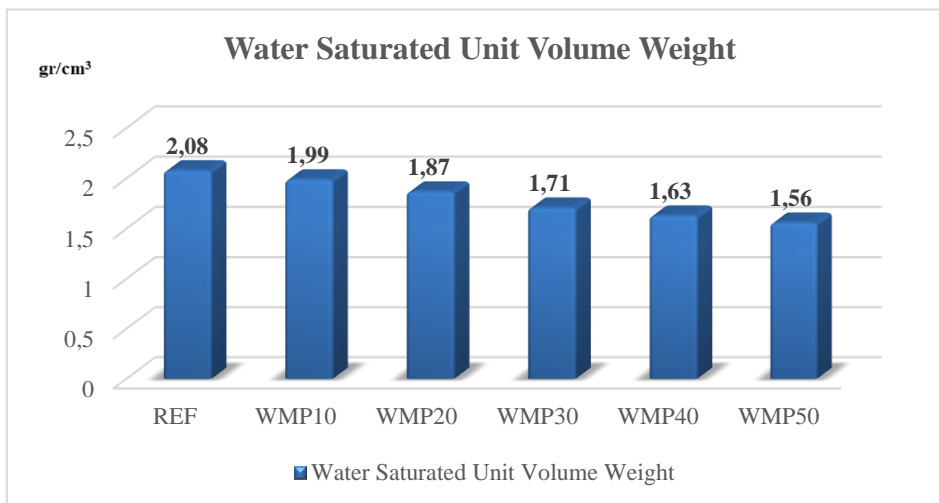


Figure 6. Graph of water saturated unit volume weight

3.2. Porosity

Porosity, which means the void in the sample structure, is a very important parameter for the engineering properties of the samples. Porosity values of the samples produced within the scope of the study are given in Figure 7. When the figure is analysed, it is seen that the porosity values vary between 22.1% and 51.3%. The minimum porosity value was obtained from the reference sample and the highest porosity value was obtained from the WMP50 sample. In other words, the porosity value augmented with the augment in the amount of waste marble powder. The values found are 22.1%, 25.3%, 30.5%, 38.7%, 45.4%, 51.3% respectively.

When the samples with waste marble powder doped samples are compared with the reference sample; the porosity value of WMP10 sample augmented by 14% compared to the reference sample. This augment is 38% in WMP20, 75% in WMP30, 105% in WMP40 and 132% in WMP50.

The reason why waste marble powder augments porosity is that waste marble powder is composed of CaCO_3 , which produces CO_2 gas and causes porosity to augment. The CaO released is a reactive compound (Sütçü and Akkurt, 2009). This can change the quartz phase of the bricks into new phases such as calcium aluminosilicates and change the brick properties (Sütçü et al. 2015). The study by Bilgin et al. also supports our study (Bilgin et al., 2012).

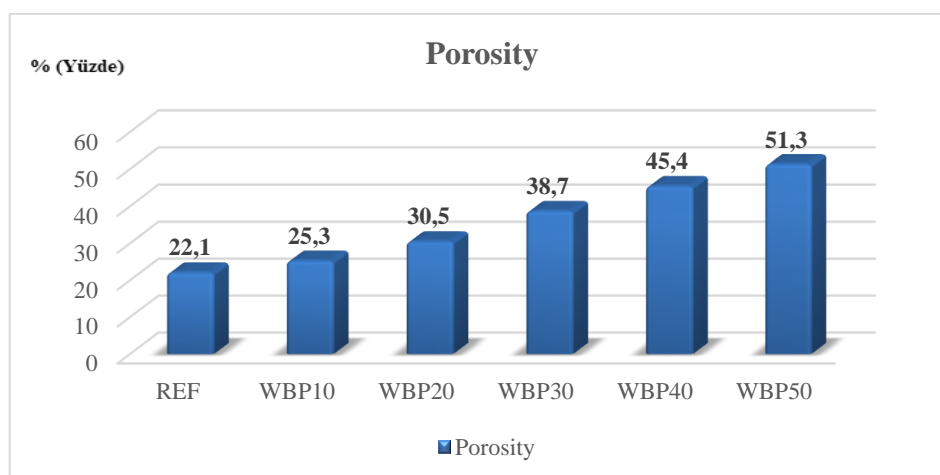


Figure 7. Graph of Porosity

3.3. Water Absorption (By Weight)

Figure 8 shows the it's values of the reference and waste marble powder doped brick samples. When the graph in the figure is analysed; it is detected that the water absorption rates vary between 20,8% and 38,6%. The minimum value was obtained from the reference sample and the maximum value was obtained from the samples with 50% waste marble powder additive. In other words, the water absorption rate augmented with the augment in the proportion of waste marble powder.

When the waste marble powder doped samples were compared with the reference sample; the water absorption rate of WMP10 sample augmented by 15.8% compared to the reference sample. This augment is 31.7% in WMP20, 44.7% in WMP30, 69.6% in WMP40 and 85.5% in WMP50.

The results obtained and previous studies show that there is a linear relationship between porosity and water absorption values (Sütçü and Akkurt 2009; Bilgin et al. 2012). The maximum water absorption limit reported by various researchers shows that it varies between 20% and 40% and supports our study (Saboya et al. 2007; Kazmi et al. 2016). In addition, in some studies, it was observed that the amount of water absorption augmented with the augment in the amount of waste marble powder as in the study (Bilgin et al., 2012; Cobo-Ceacero et al., 2018).

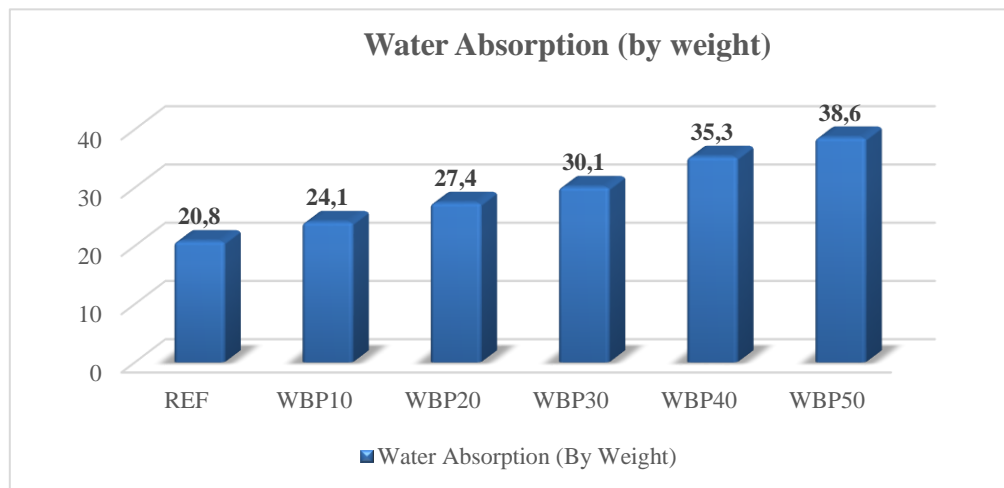


Figure 8. Graph of water absorption

3.4. Freeze-Thaw Effect

It's values of the samples are presented in Figure 9. When the figure is analysed, it is seen that the freeze thaw values vary between 14.3% and 34.1%. Again, the minimum value was obtained from the reference sample and the maximum value was obtained from the WMP50 sample. The values found are 14,6%, 17,6%, 20,5%, 25,9%, 29,6%, 34,1% respectively. As can be seen from the values, the freeze thaw value augmented with the augment in the amount of waste marble powder.

When the waste marble powder doped samples are compared with the reference sample; the freeze-thaw effect of WMP10 sample augmented by 23% compared to the reference sample. This augment is 43.3% for WMP20, 81.1% for WMP30, 106.9% for WMP40 and 138.4% for WMP50.

The ASTM C67 standard considers bricks to be freeze-thaw resistant if they do not crack during the freeze-thaw cycle or if the mass loss does not exceed 3%. As a result of the test performed within the scope of the study, all samples were subjected to mass loss over 3% and cracking was observed. Porosity of bricks is an important factor for freeze-thaw resistance (Davison 1980). In a previous study, it was reported that brick samples with high pore volumes were subjected to higher mass loss, which reduced durability (Netinger et al., 2014). This study supports our study.

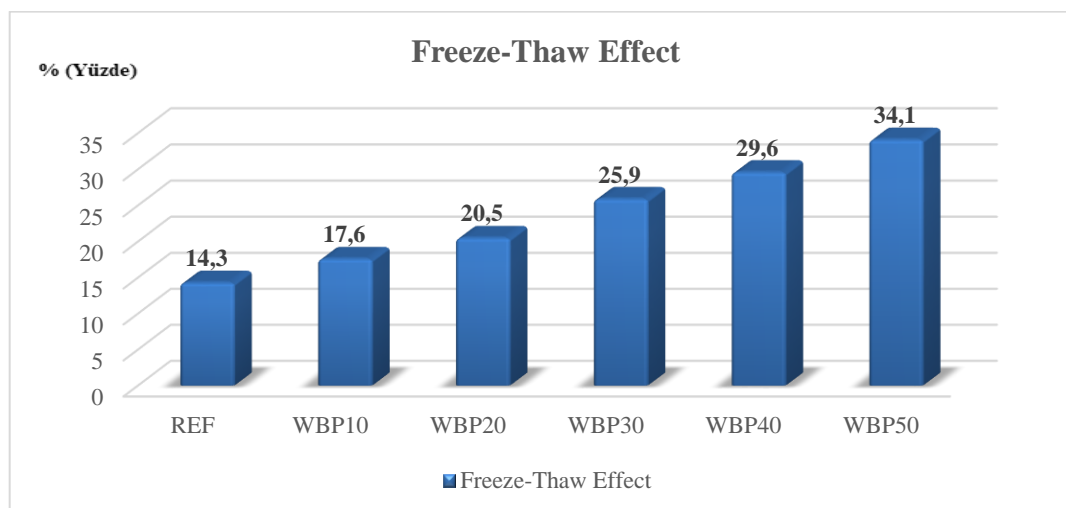


Figure 9. Graph of freeze-thaw strength

3.5. Sulfate Effect

Figure 10 shows the mass gain and compressive strength reduction rates of doped and un-doped brick samples exposed to sulphate effect.

When the compressive strength was analysed, a reduce in compressive strength occurred with the augment in the amount of waste marble powder. The reduce in compressive strength of the samples varied between 12.8% and 44.5 MPa. The lowest compressive strength loss was obtained from the reference sample. It is thought that the reason for the reduce in compressive strength is that the salt crystals in the pores of the bricks create pressure and cause internal microcracks, resulting in a reduce in compressive strength. The reference sample has the lowest compressive strength loss since it has less porous structure compared to the samples with waste marble powder additives.

Since the pores of the brick samples were filled with salt crystals, it caused mass gain. Since the porosity of the samples doped with waste marble powder was higher, the mass gain augmented. The lowest mass gain was obtained from the reference sample with the minimum porosity value and the highest mass gain was obtained from the WMP50 sample with the maximum porosity value. The mass gain values are 11.3%, 16.9%, 25.2%, 30.7%, 35.1% and 41.4%, respectively.

When the literature was analysed, the studies conducted by Naik et al. and Münir et al. presented similar results with the study.

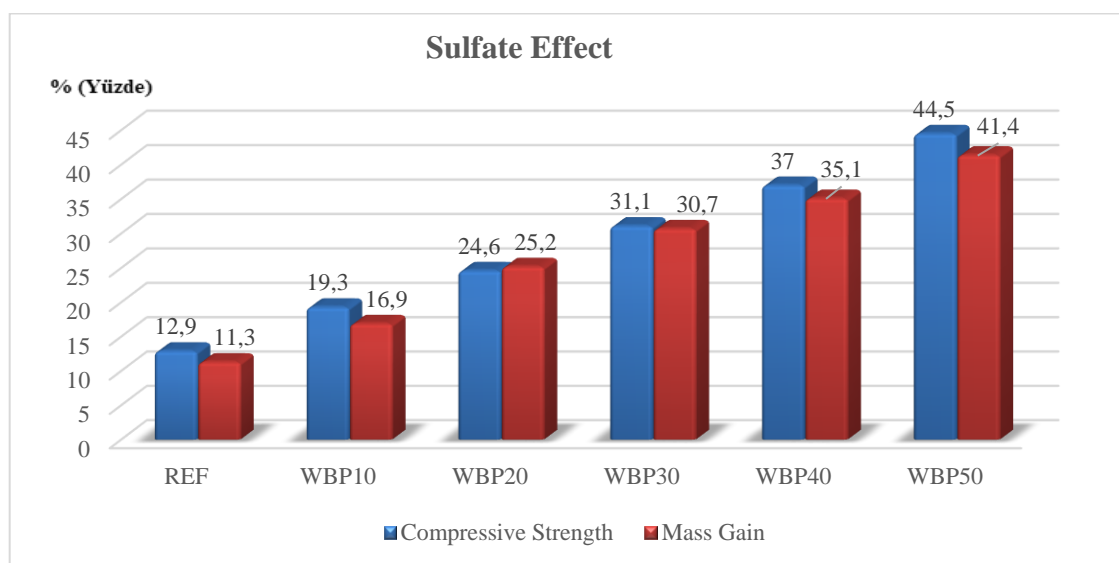


Figure 10. Graph of sulphate effect

3.6. Compressive Strength

One of the tests performed to determine the mechanical properties is the compressive strength test. Figure 11 presented the graph of compressive strength values of waste marble powder doped brick samples. In the graph, it is seen that the compressive strength values of the waste marble powder doped brick samples are lower than the reference sample. In addition, it was determined that the compressive strength reduced with the augment in the waste marble powder substitution rate. While the reference sample had the highest compressive strength with 4.4 MPa, the lowest compressive strength was obtained from WMP50 sample with 1.98 MPa. The compressive strength of the samples are 4.4, 4.01, 3.54, 3.01, 2.5, 1.98 MPa respectively.

When the waste marble powder doped samples are compared with the reference sample; the compressive strength of WMP10 sample reduced by 8.8% compared to the reference sample. This reduce is 19.5% in WMP20, 31.5% in WMP30, 43.1% in WMP40 and 55% in WMP50.

According to TS 704, bricks with a compressive strength between 4-5 MPa are classified as medium strength bricks and bricks with a compressive strength between 2.5-3.9 MPa are classified as low strength bricks. In this study, the reference and WMP10 samples are classified as medium strength bricks, while WMP20, WMP30, WMP40 and WMP50 samples are classified as low strength bricks.

Density, porosity and pore size of brick samples are the main parameters affecting the compressive strength (Aouba et al. 2016). It is seen that there is an inversely proportional linear relationship between the compressive strength of bricks and porosity values. In addition, when waste marble powder is fired at high temperatures, the carbonates in it burn and cause the porosity value to augment. This has a negative effect on compressive strength

(Kazmi et al., 2016-a; Kazmi et al., 2016; Sütçü et al., 2015).

The brick samples with 10% waste marble powder substitution achieved compressive strength that met certain limit. Therefore, it can be used effectively in sustainable, cost-effective wall construction. Some studies in the literature are consistent with the values obtained in our (Bilgin et al., 2012; Cobo-Ceacero et al., 2018; Ionescu et al., 2023).

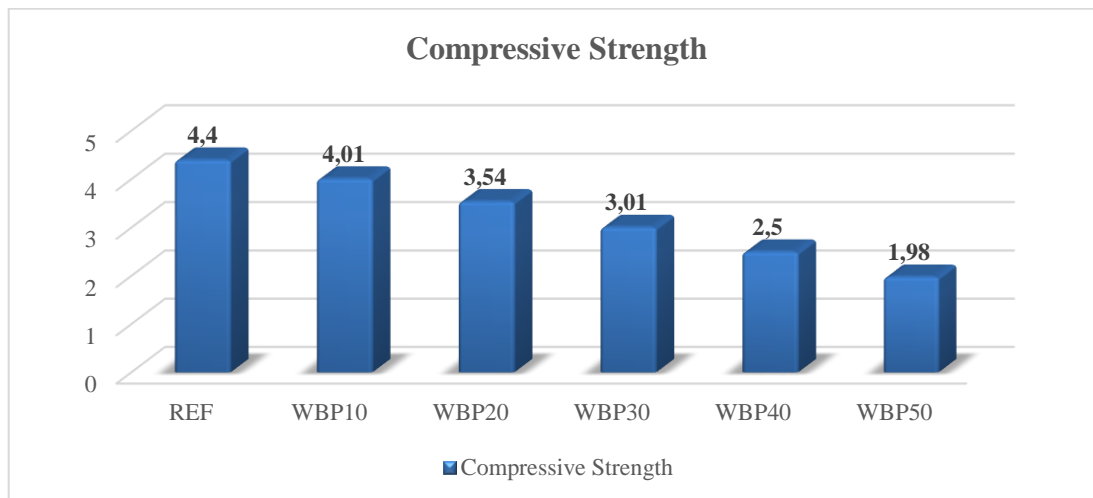


Figure 11. Compressive strength values of the samples

3.7. Flexural Strength

Another test performed to determine the mechanical properties is the flexural strength test. Figure 12 shows the flexural strength values. When the figure is analyzed, it is seen that the substitution of waste marble powder augments the flexural strength values of the samples. The minimum value was obtained from the reference sample and the maximum value was obtained from the WMP50 sample. Flexural strength values vary between 0.64-1.15 MPa. According to ASTM C67 standard, the minimum flexural strength value of bricks to be used in wall construction should be 0.65 MPa. In this case, the flexural strength values of all brick samples doped with waste marble powder meet the standard. In addition, the flexural strength values of the brick samples are related to their microstructure, which becomes more porous with increasing waste marble powder substitution (Bilgin et al., 2012; Cobo-Ceacero et al., 2018).

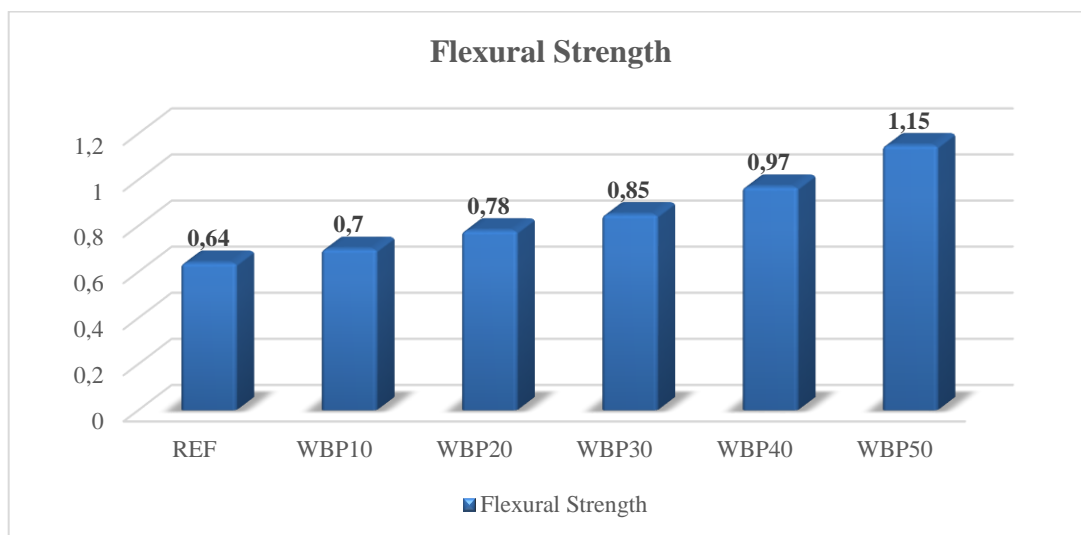


Figure 12. Flexural strength values of the samples

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Within the scope of the study, waste marble powder from Kırşehir region was substituted into the clay at different ratios (10%, 20%, 30%, 40%, 50%) and additive bricks were produced. Physical and mechanical tests were performed on these brick samples. The data obtained as a result of the study were evaluated and the following conclusions were drawn.

- ✓ The water saturated unit volume weight values reduced with the augment in the amount of marble powder in the waste marble powder doped brick samples. The lowest value was obtained from WMP50 sample.

- ✓ As the amount of waste marble powder augmented in the brick samples, porosity values also augmented. The samples with the highest porosity are WMP50 samples. The augment in porosity rate caused an augment in water absorption rate.
- ✓ The water absorption values of the samples augmented with the augment in waste marble powder substitution, the highest water absorption rate was obtained from the WMP50 sample and the minimum water absorption rate was obtained from the reference sample.
- ✓ As a result of the freeze thaw test, its values augmented as the amount of waste marble powder augmented.
- ✓ The sulfate effect augmented with the augment in the amount of additives in the waste marble powder doped brick samples. Under the sulfate effect, compressive strength and mass gain augmented and the highest value was obtained from WMP50 sample.
- ✓ The compressive strength values of the brick samples reduced as the amount of waste marble powder augmented. Samples containing 10% waste marble powder are classified as medium strength bricks and can be used in building production. The minimum compressive strength was obtained from the WMP50 sample and the maximum compressive strength was obtained from the reference sample.
- ✓ As the amount of waste marble powder augmented, the flexural strength values of the brick samples also augmented. All waste marble powder doped samples meet the minimum flexural strength value specified in ASTM C67 (i.e. 0.65 MPa).
- ✓ Based on these findings, it is concluded that the use of waste marble powder in brick production is a suitable option.
- ✓ The high porosity values of the brick samples doped with waste marble powder indicate that it is a porous material. Since the thermal performance of porous materials is quite good, it is recommended to apply heat transfer coefficient determination test to the samples.
- ✓ The use of waste marble powder can reduce the depletion of fertile soils.
- ✓ Bricks with 10% waste marble powder additives have values close to the reference sample and are suitable for use in sustainable brick production.
- ✓ The use of waste marble powder in clay bricks can augment the sustainability of masonry construction, reduce landfill practices and avoid potential health risks after disposal of this by-product in natural ecosystems.
- ✓ Apart from cement and concrete, waste marble powder is also recommended to be used in the production of building materials such as bricks.
- ✓ The number of academic studies on the use of waste marble powder in the construction field should be augmented.
- ✓ The use of waste marble powder in brick production is an effective solution for waste disposal.

REFERENCES

- Göl, F., Kacar, E., Saritas, Z.G., Cibuk, S., Ture, C., Arslan, M., & Sen, F. (2023). "The use of boron based materials on efficiency of environmentally friendly porous ceramics", *Environmental Research*, 216 (2023), 114454.
- Khitab, A., & Anwar, W. (2016). "Classical Building Materials", *Advanced Research on Nanotechnology for Civil Engineering Applications*, 1-20.
- Demir, I. (2009). "Reuse of waste glass in building brick production". *Waste Management Research*, 27, 572–577.
- Okunade, E.A. (2008). "The effect of wood ash and sawdust admixtures on the engineering properties of a burnt laterite-clay brick". *Research Journal of Applied Sciences*, 2008, 8, 1042–1048.
- Gorai, S. (2018). "Utilization of Fly ash for sustainable environment management", *Journal of Materials and Environmental Science*, 9, 385–393.
- Bui, Q.B., Morel, J.C., Reddy, B.V.V., & Ghayam, W. (2009). "Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering", *Building Environment*, 44, 912–919.
- Calatan, G., Hegyi, A., Deco, C., & Szilagyi, H. (2020). "Opportunities regarding the use of adobe-bricks within contemporary architecture", *Procedia Manufacturing*, 46, 150–157.

- Dalkilic, N., & Nabikoglu, A. (2017). "Traditional manufacturing of clay brick used in historical buildings of Diyarbakir (Turkey)". *Frontiers of Architectural Research*, 6, 346–359.
- Pawar, A.S. & Garud, D.B. (2014a). "Engineering properties of clay bricks with use of fly ash". *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2014, 3, 75–80
- Ramakrishnan, K., Chellappa, V., & Chandrasekarabharathi, S. (2023). "Manufacturing of Low-Cost Bricks Using Waste Materials", *Material Proceeding*, 13 (25), 1-8.
- Zhan, L. (2014). "Production of bricks from waste materials". *Construction and Building Materials*, 47, 643–655.
- Pawar, A.S., & Garud, D.B., (2014b), "Engineering properties of clay bricks with use of fly ash", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(9), 75-80
- Göl, F., Cibuk, S., Kacar, E., Saritas, Z.G., Yilmaz, A., Arslan, M., & Sen, F., (2022). "Evaluation of solid wastes in the manufacture of ceramic tableware glazes". *Ceramics International*, 48, 15622–15628
- Tahwia, A.M., Elgendy, G.M., & Amin, M. (2021). "Durability and microstructure of eco-efficient ultra-high-performance concrete", *Construction and Building Materials*, 303, 2021, 124491.
- Abdellatif, M., Elemam, W.E, Alanazi, H., & Tahwia, A.M. (2023). "Production and optimization of sustainable cement brick incorporating clay brick wastes using response surface method", *Ceramics International*, 49(6), 15 March 2023, 9395-9411.
- Ricardo, R.J., Brito, D., & Sardinha, M. (2015), "Mechanical properties of structural concrete containing very fine aggregates from marble cutting sludge", *Construction and Building Materials*, 77, 349–356.
- Heniegal, A.M., Ramadan, M.A., Naguib, A., & Agwa, I.S. (2020). "Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste". *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00397.
- Murugesan, T., Bahurudeen, A., Sakthivel, M., Vijay, R., & Sakthivel, S. (2017). "Performance evaluation of burnt clay-fly ash unburnt bricks and precast paver blocks". *Materials Today: Proceedings*, 4, 9673–9679.
- James, J., & Pandian, P.K. (2017). "A short review on the valorisation of sugarcane bagasse ash in the manufacture of stabilized/sintered earth blocks and tiles". *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1706893.
- Sutas, J., Mana, A., & Pitak, L.J.P.E. (2012). "Effect of rice husk and rice husk ash to properties of bricks". *Procedia Engineering*, 32, 1061–1067
- Manni, A., Haddar, A.E., Hassani, İ.EE.A.E., Bouari, A.E., & Sadik, C. (2019). "Valorization of coffee waste with Moroccan clay to produce a porous red ceramics", *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 58, 5 (2019) 211.
- Andreola, F., Lancellotti, İ., Sergi, R., Cannillo, V. & Barbieri, L. (2021). "Comparison of Three Manufacturing Techniques for Sustainable Porous Clay Ceramics", *Materials*, 14(1), 157-167.
- Peng, L., Zhao, Y., Ban, J., Wang, Y., Shen, P., Lu, J.X., & Poon, C.S. (2023). "Enhancing the corrosion resistance of recycled aggregate concrete by incorporating waste glass powder", *Cement and Concrete Composites*, 137, March 2023, 104909.
- Zhang, C., Wang, J., Song, W., & Fu, J. (2023). "Effect of waste glass powder on pore structure, mechanical properties and microstructure of cemented tailings backfill", *Construction and Building Materials*, 365, 15 February 2023, 130062.
- Olaiya, B.C., Lawan, M.M & Olonade, K.A. (2023). "Utilization of sawdust composites in construction—a review", *SN Applied Sciences*, 5 (140), 1-10.
- Padmalosan, P., Vanitha, S., Kumar, V.S., Anish, M., Tiwari, R., Dhapekar, N.K., & Yadav, A.S., (2023). "An investigation on the use of waste materials from industrial processes in clay brick production", *Materials Today: Proceedings*, (In Press).
- Ngayakamo, B.H., Bello, A., & Onwualu, A.P. (2020). "Development of eco-friendly fired clay bricks incorporated with granite and eggshell wastes". *Environment Challenges*, 2020(1), 100006.
- Nisa, A.U., & Singh, P. (2023). An alkali activated geopolymer concrete brick incorporated with devri stone quarry dust, *Materials Today: Proceedings*, (In Press).

- Öztürk, M., (2018). Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Filiz, M., Özel, C., Soykan, O. & Ekiz, Y. (2010). "Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması", Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2) 57-72.
- TS EN 772-4, (2000). "Masonry units - Test methods - Part 4: Determination of the total and apparent porosity of natural stone masonry units and the mass of unit volume with and without voids", Turkish Standardization Institute, Ankara.
- Sutcu, M., & Akkurt, S. (2009). "The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity". *Ceramics International*, 35(7), 2625–2631.
- Eliche-Quesada, D., Corpas-Iglesias, F. A., Pérez-Villarejo, L., & Iglesias-Godino, F. J. (2012). "Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing". *Construction and Building Materials*, 34(Sep), 275–284.
- Munir, M.J., Abbas, S., Nehdi, M.L., Kazmi, S.M.S., & Khitab, A. (2018). "Development of Eco-Friendly Fired Clay Bricks Incorporating Recycled Marble Powder", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, 30(5), 1-11.
- Dhanapandian, S., Gnanavel, B., & Ramkumar, T. (2009). "Utilization of granite and marble sawing powder wastes as brick materials". *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4(2), 147-160.
- Aydın, G., Karakurt, İ. (2020). "Evaluation of Natural Stone Production and Processing Plant Wastes", *ALKU Journal of Science*, 2(2), 62-77.
- Sutcu, M., Alptekin, H., Erdogmus, E., Er, Y., & Gencil, O. (2015). "Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials". *Construction and Building Materials*, 82(May), 1–8.
- Bilgin, N., Yeprem, HA., Arslan, S., Bilgin A., Günay, E., & Marsoglu, B. (2012). "Use of waste marble powder in brick industry", *Construction and Building Materials*, 29(2012), 449-457.
- Saboya, F., Jr., Xavier, G. C., & Alexandre, J. (2007). "The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic". *Construction and Building Materials*, 21(10), 1950–1960.
- Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J., & Khitab, A. (2016). "Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane Bagasse and rice husk ashes", *Construction and Building Materials*, 120(Sep), 29–41.
- Cobo-Ceacero C.J.C., Cotes-Palomino M.T., Martínez-García C., Moreno-Maroto J.M., & Uceda-Rodríguez, M. (2018). "Use of marble sludge waste in the manufacture of eco-friendly materials: applying the principles of the Circular Economy", *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 35399–35410
- ASTM C 67, 2011. Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, American Society for Testing and Materials, USA.
- Davison, J.I. (1980). Linear expansion due to freezing and other properties of bricks. *Proceeding 2nd Canadian Masonry Symposium*, Carleton Univ., Ottawa.
- Netinger, I., Vračević, M., Ranogajec, J., & Vučetić, S. (2014). "Evaluation of brick resistance to freeze/thaw cycles according to indirect procedures". *Gradevinar*, 66(3), 197–209.
- Naik, N., Bahadure, B., & Jejurkar, C. (2014). "Strength and durability of fly ash, cement and gypsum bricks". *International Journal of Computer Engineering Research*, 4(5), 1–4.
- Munir, M.J., Abbas, S., Nehdi, M.L., Kazmi, S.M.S., & Khitab, A. (2018). "Development of Eco-Friendly Fired Clay Bricks Incorporating Recycled Marble Powder", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, 30(5), 1-11.
- TS 704, 1979. Clay Bricks (Wall Tile), Turkish Standardization Institute, Ankara.
- Aouba, L., Bories, C., Coutand, M., Perrin, B., & Lemercier, H. (2016). "Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: Cases of olive stone flour and wheat straw residues", *Construction and Building Materials*, 102(Part 1), 7–13.
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Abbas, S., Saleem, M. A., Khitab, A., & Rizwan, M. (2016-a). "Development of lighter and eco-friendly burnt clay bricks incorporating sugarcane Bagasse ash". *Proceedings of international conference on Advanced Materials and Emerging Technologies (ICAMET 2016)*, University of Engineering and Technology, Lahore, Pakistan.

Ionescu, B.A., Barbu, A.M., Lăzărescu, A.V., Rada, S., Gabor, T., & Florean, C., (2023). "The Influence of Substitution of Fly Ash with Marble Dust or Blast Furnace Slag on the Properties of the Alkali-Activated Geopolymer Paste", *Coatings*, 13(403), 1-21.

Kinetik Cephe Sistemlerinin Performansa Dayalı Tasarımı ve Tasarım Süreci

Performance-Based Design and Design Process of Kinetic Facade Systems

Ahmet Necip BELEK^{1*}, Ruşen YAMAÇLI²

^{1*} Eskişehir Teknik Üniversite, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye

² Eskişehir Teknik Üniversite, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Eskişehir, Türkiye

ÖZET

Uyarlanabilir olma fonksiyonu sayesinde dış çevreyle ve/veya iç mekandaki kullanıcılarla etkileşime girip cephede günışığına bağlı yüksek performans ve binanın yaşam döngüsü boyunca enerji etkinliği sağlayarak kullanıcıların konforunu arttıran kinetik cephe sistemleri, güneş kırıcı bir kabuk olarak verimli ve efektif çözümler sunmaktadır. Kinetik cepheyi oluşturan güneş kırıcı bileşenlerin optimum uyarlanabilirlik performansını göstermesi, bu cephelerin tasarımına ve tasarım sürecine bağlıdır. Bu bağlamda, kinetik cephenin morfolojik (fiziksel-biçimsel) yapısının modellenip kinetik dönüşümü tasarımının yapıldığı, fonksiyonel özelliklerinin belirlendiği ve performans analizlerinin gerçekleştirildiği tasarım sürecinde; benimsenen tasarım yaklaşımları, kullanılan tasarım sistemleri ve bu sistemlerin gerektirdiği araç, yöntem ve tekniklerin bir araya gelerek oluşturduğu tasarım prosedürleri önem kazanmaktadır. Çalışma kapsamında, kinetik cephe sistemlerinin performansa dayalı tasarımı ile tasarım sürecinin ilişkisini ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu amaçla önce literatür taraması, sonrasında belirlenen kinetik cephe tasarım örneklerinin karşılaştırmalı analizi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde, elde edilen bulgulardan yola çıkarak performansa dayalı optimum kinetik cephe tasarımı ve tasarım sürecine dair genel tespitler yapılmış ve literatürdeki bu sistemlerin tasarımına ilişkin çalışmaların eksikliğinden bahsedilip bu alandaki tasarım yöntem ve yaklaşımlarının artırılıp geliştirilmesi gerektiği önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kinetik Cephe Tasarımı, Kinetik Cephe Tasarım Süreci, Parametrik ve Algoritmik Tasarım, Performansa Dayalı Tasarım, Cephe Tasarımı Optimizasyonu

ABSTRACT

Kinetic facade systems, which increase the comfort of the occupants by interacting with the external environment and/or occupants interior space thanks to their adaptability function, and providing high daylight performance on the facade and energy efficiency throughout the life cycle of the building, offer efficient and effective solutions, as a sunshade shell. The optimum adaptability performance of the sunshade components that form the kinetic facade depends on the design and design process of these facades. In this context, in the design process where the morphological (physical-formal) structure of the kinetic facade is modeled and its kinetic transformation is designed, its functional properties are determined and performance analyzes have happened; The design approaches adopted, the design systems used and the design procedures created by the tools, methods, and techniques required by these systems gain importance. Within the scope of the study, it is aimed to reveal the relationship between the performance-based design of kinetic facade systems and the design process. For this purpose, comparative analysis and evaluation of the kinetic facade design samples were determined after the literature review has been done. In the conclusion section of the study, general determinations were made about performance-based optimum kinetic facade design and design process based on the findings, and the lack of studies on the design of these systems in the literature was mentioned and it was suggested that design methods and approaches in this field should be increased and developed.

Keywords: Kinetic Facade Design, Kinetic Facade Design Process, Parametric And Algorithmic Design, Performance-Based Design, Facade Design Optimization

Başvuru: 12.05.2023 Revizyon Talebi: 20.09.2023 Son Revizyon: 24.11.2023 Kabul: 28.11.2023

Doi: 10.51764/smutgd.1296435

1*Sorumlu yazar; E-mail: ahmetnecipbelek@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8670-5682

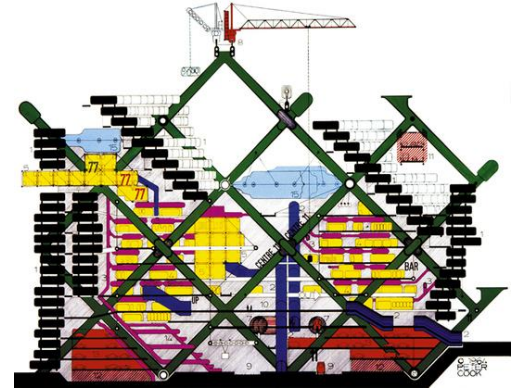
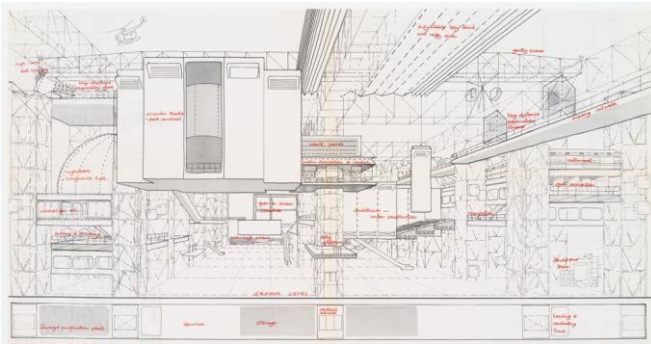
2 E-mail: ryamacli@eskisehir.edu.tr; ORCID: 0000-0001-9659-9246

1. GİRİŞ

Kinetik mimarlık, mimarının statik bir yapıdan dinamik bir yapıya dönüşmesidir. Kinetik mimarının genel tanımını Fox ve Yeh (1999), şu şekilde yapmaktadır: “Kinetik mimariyi, değişken konum, hareketlilik ve/veya geometriye sahip binalar veya bina bileşenleri olarak tanımlarız.”. Bu tanımlamadan hareketle bir binadaki kinetiklik özelliğinin binanın tamamında olmak zorunda olmadığı; bu binanın herhangi bir bölümünde de kinetikliğin olabileceği anlaşılmaktadır.

Mimaride hareket edebilen sistemlerin ve mimari elemanların kullanımı yüzyıllara dayanmaktadır. Tarihsel süreçte erken örnekleri antik dönemdeki katlanabilir, taşınabilir göçebe barınakları sayılabilir. İlerleyen dönemlerde ise yapım tekniği, yöntemi ve teknolojinin gelişmesiyle beraber; menteşeli, sürgülü kapı, pencere ve hareketli güneş kırıcı sistemler binalarda kullanılmaya başlanmış daha sonraları da taşınabilir çağdaş konutlar ve katlanır köprüler gibi yapılar inşa edilmiştir (Stevenson, 2011; Ramzy, Fayed, 2011). Kinetik sistemler zamanla manuel, mekanik, elektronik ve akıllı sistemler olarak gelişim göstermiştir (Ramzy, Fayed, 2011). Kinetik mimarlığın tanımına giren uygulanmış örneklerin dışında, kinetik mimarlığa dair akademik araştırmaların temelleri de ilk kez 20. yüzyılda atılmıştır. Bu dönemdeki modernist mimarlar öncelikle kinetik mimarlığın teorik çerçevesini ortaya koymuştur.

20. yüzyılın modern mimarlık döneminden sonra, “sürekli olarak üretilebilen ve yenilenebilen” mimarlık konsepti sorgulanmaya başlanmıştır. Cedric Price’ın 1961’de tasarladığı Fun Palace (Şekil 1), bu konsepti ortaya koyan deneysel bir çalışmadır. Daha sonra dönemin avangard bir mimarlık grubu olan Archigram tarafından 1967’de ortaya konan Plug-in Şehri (Şekil 2) konsepti kinetik mimarının önünü açmıştır. Bu konsept ile kullanıcının istek ve gereksinimlerindeki değişikliklere göre uyarlanabilen mekanlar ortaya konmuştur (Alotaibi F. 2015; Megahed, 2017). Kinetik mimari kavramı ilk kez 1970 yılında William Zuk ve Roger H. Clark’ın Kinetik Mimarlık adlı kitabında tanıtılmıştır. Elmokadem ve diğer yazarların aktardığına göre (2018), Zuk ve Clark kitaplarında kinetik mimarlığı: “Bir mimarının, kendisine etki eden bir dizi baskı içinde meydana gelen değişikliklere ve bu baskıların yorumlanması ve uygulanması için araç sağlayan teknolojiye uyum sağlaması.” şeklinde tanımlamışlardır.



Şekil 1. Fun Palace Konsept Çizimi / Cedric Price (URL 1) **Şekil 2.** Plug-in Şehri Konsept Çizimi / Peter Cook (URL 2)

1970’lerden sonra bilgisayar ve telekomünikasyon teknolojisinin gelişmesiyle, kendi bileşenlerini kontrol edebilen, “akıllı” bina teknolojisinin temelleri olan projeler üretilmiştir. 1970’lerin sonunda kişisel bilgisayarların tanıtılmasıyla mimarlık alanında da önemli adımlar atılmış olup 1987’de Jean Nouvel, kinetik mimarının önemli bir örneği olan Paris’teki Institut du Monde Arabe binasını tanıtmıştır (Elmokadem, vd. 2018.). Binanın geleneksel Arap “Mashrabiya” motifinin geometrisi kullanılmış güney cephesindeki kinetik ekranları, günışığı miktarına bağlı olarak mekana alınan doğal ışığı kontrol etmektedir (URL-3). Bu yapıdaki cephe tasarımı, uyarlanabilir kinetik cephe sistemi olarak uygulanmış en erken örnek sayılmaktadır.

Kinetik cepheler, bileşenlerinde geçici olarak biçim, konum veya yön değişikliği yaparak iç mekana alınan günışığını, kullanıcıların konfor taleplerine ve dış çevredeki iklim koşullarına göre otomatik veya kullanıcı etkileşimli olarak ayarlayabilen gelişmiş güneş kırıcı sistemlerdir. Kinetik cepheler, mekanik ve elektronik sistemlerin oluşturduğu sensör, aktüatör ve kontrol mantığı gibi teknolojilerle dışsal bir kontrol mekanizması ile; veya bu donanımlara ihtiyaç duyulmadan, kinetik bileşenlerini oluşturan akıllı malzemelerin içinde barındırdığı gelişmiş özellikler ve fonksiyonlar sayesinde içsel bir kontrol mekanizması ile yönetilmektedir (Alkhatib, vd. 2021; Albag, vd. 2020). Yapılan kapsamlı literatür araştırması sonucunda, uygulanmış olan veya henüz uygulanmamış olup tasarım önerisi olarak geliştirilmiş kinetik cephelerin, barındırdıkları farklı teknolojik donanım, sistem, malzeme veya tasarımlarında benimsenen farklı yaklaşımlar ve stratejilere göre çeşitlendiği görülmüştür.

Kinetik cephe sistemlerinin tasarımında, günümüz dijital teknolojisinin sunduğu çeşitli parametrik ve algoritmik yazılımlardan faydalanılmaktadır. Tepki verebilen kinetik cephe sistemlerinin tasarımı, bu yazılımlar sayesinde tasarımcıların kontrolünde otomatik ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Parametrik modelleme araçlarının, bu araçlarla senkronize ve entegre çalışan çeşitli simülasyon ve analiz araçlarıyla birlikte etkin kullanımı ile tasarımda çoklu varyasyonların üretilip bu varyasyonların hedeflenen günışığı performansı ve enerji etkinliği gibi sürdürülebilirlik kriterlerinin parametrelerine göre simülasyonlarla test edilmesi ve test çıktılarındaki optimum değerleri sağlayacak şekilde model üzerinde konfigürasyonların yapılması, kinetik cephelerin tasarım ve optimizasyon sürecini ifade etmektedir. Optimizasyonu yapılarak tasarım süreci tamamlanan kinetik cephelerin performansının, uygulanacağı mekanın veya binanın iç ve dış çevre parametrelerine göre önceden etüt edilmesi sayesinde, günışığını kinetik uyarlanabilir sistemi ile filtreleyerek iç mekana aktaran ve bu şekilde kullanıcıların termal ve görsel konforunu arttırarak enerji verimliliğine katkıda bulunan optimum uyarlanabilir kinetik mekanizma ve morfolojik tasarıma sahip tasarımlar elde edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle kinetik mimari sistemler, bu sistemlerin özellikleri ve içerdiği sistem katmanları hakkında bilgi verilmiş ve 8 uygulanmış kinetik cephe örneği bu bağlamda analiz edilmiştir. Buna göre, 2. bölümde kinetik cephe sistemlerinin sahip olduğu genel fonksiyonlar, kontrol mekanizmaları ve stratejileri ortaya konmuş olup kinetik cephe teknolojileri ve sistemleri örnekler üzerinden analiz edilerek aktarılmıştır. 3. ve 4. bölümlerde ise sırasıyla kinetik cephe sistemlerinin Yapı Bilgi Modelleme (BIM) ortamındaki tasarımı ve tasarım süreçleri; tasarımda kullanılan araçlar, yöntemler, teknikler ve benimsenen yaklaşımların oluşturduğu prosedürler irdelenerek daha sonra da kinetik cephe tasarım yaklaşımı olarak üretken tasarım sistemleri sınıflandırılarak aktarılmıştır. Çalışmanın son bölümünde, literatürden seçilmiş 8 tanesi kinetik 2 tanesi ise statik parametrik cephe örneği olan toplam 10 örnek, tasarım süreci çerçevesinde analiz edilip değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde ise, yapılan araştırmalar ve analizlerden elde edilen bulgularla kinetik cephenin performansa dayalı tasarımı ve tasarım sürecine ilişkin sonuçlar çıkartılarak tespitler yapılmış ve bu tespitlerden de hareketle konu ile ilgili genel bir değerlendirmede ve önerilerde bulunulmuştur.

2. KİNETİK CEPHE SİSTEMLERİ

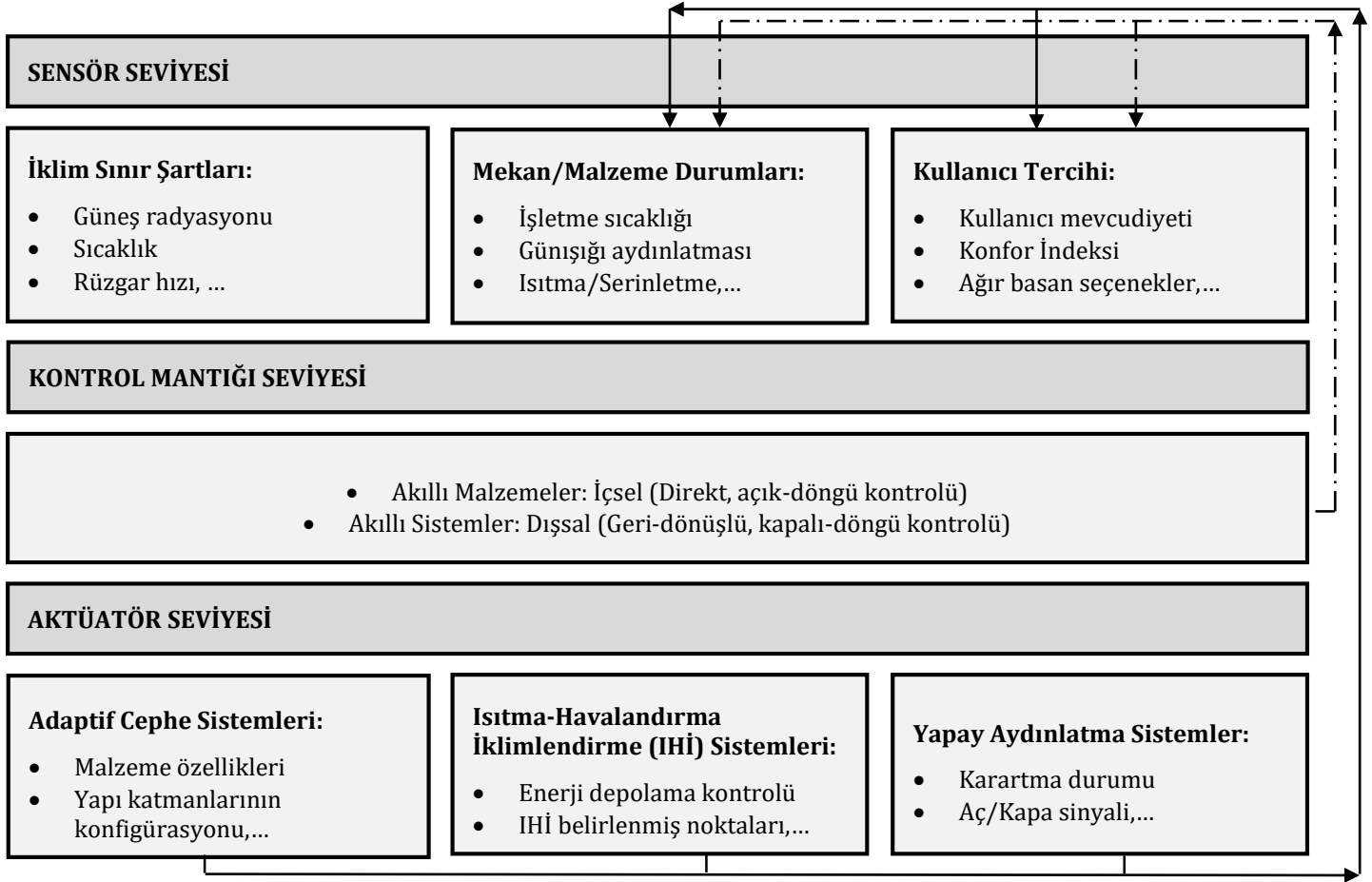
20. yüzyıldaki kinetik mimari üzerine yapılan ütopyik ve deneysel çalışmalar sonrasında yaşanan elektronik ve dijital teknolojiye gelişim, mimarların tasarımlarında kinetik sistemleri kullanmasının önünü açmıştır. Kinetik mimarlık, gelişen malzeme-robotik, bilgisayar ve yapım teknolojisi sayesinde; konut, ticari, sanayi, eğitim, sağlık ve askeri olmak üzere farklı tipteki mimari tasarımlara, farklı form ve sistemde entegre edilerek geniş uygulama alanı kazanmıştır (Megahed, 2017). Postmodernist mimarlık, kullanıcı-uzay-bağlam arayüzlerinde alışılmadık dışında idealler getirmiş ve bu da değişikliklere tepki vermek için geri bildirim kullanabilen duyarlı mimarinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Geri bildirim modelleri, doğrudan insan manipülasyonundan, gelişmiş bilgisayar teknolojisinin entegrasyonu ile desteklenen tam otomasyona kadar değişmektedir (Stevenson, 2011). Uzaktan kontrol sistemlerini ve ileri seviye karar verme mekanizmalarını içeren "yapay zeka" entegrasyonu ile mimarlıkta, biyomekanik sistemlerden çevresel koşullara göre uyarlanabilir cephe sistemlerine kadar geniş spektrumda uygulamalar yapılmıştır.

Kinetik mimari, bir yapıda strüktürel, mekânsal ve cephe veya kabuk sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çağdaş yöntem ve yaklaşımlarla inşa edilmiş kinetik cephe örneklerinde; manuel, doğal (yani güneş veya rüzgar enerjisi), biyolojik, mekanik, kimyasal, pnömatik, elektrik, manyetik ve bilgisayar donanımlı olmak üzere çeşitli sistemler bulunur. Bilgisayar sistemleri bilgi toplamak, işlemek, yapının davranışını kontrol etmek ve iç konfor koşullarını düzenlemek için bu cephelerde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Stevenson, 2011). Kinetik cephe sistemlerinin cephe kabuğunu oluşturan dinamik bileşenleri, uzayda bir hareket yaratmak için geometrik veya pozisyonel olarak dönüşüme uğrar. İklima ve kullanıcı gereksinimlerine göre uyarlanabilir kinetik cephe sistemleri, aynı anda bir dizi parametreye yanıt verebilmek için özelliklerini ayarlayabilmeleri açısından geleneksel cephe sistemlerinden ayrılmaktadır (Tabadkani, vd. 2019; Sadegh, vd. 2022). Gelişmiş teknolojilerle üretilen modüler, dinamik ve adaptif özellikteki kinetik cephe sistemlerinin zamanla cephe konfigürasyonlarında meydana gelen değişimle; kışın ısıtma, yazın gölgelendirme ve doğal havalandırma, akustik yalıtım, gün ışığını parlamayacak şekilde iç mekana aktarma, görsel konfor, yapay ışığı azaltma ve elektrik üretme gibi fonksiyonlar gerçekleştirilerek binada oturanlar için iç mekan konforunu en üst düzeye çıkarmak ve iç-dış ortamlar arasındaki etkileşimleri verimli bir şekilde yönetmek hedeflenir (Tabadkani, vd. 2019; Hosseini, vd. 2019). Bu tasarım hedeflerinin gerçekleşmesi; kinetik cephe sisteminin tasarımına, barındırdığı donanım tipine ve özelliklerine, kontrol mekanizmalarına ve malzeme tipine ve özelliklerine bağlıdır.

2.1 Kinetik Cephe Sistemlerinin Kontrol Mekanizmaları ve Stratejileri

Kinetik cephe sistemlerindeki kontrol mekanizmaları ve otomatik ve/veya kullanıcı odaklı operasyonel stratejiler, performans açısından etkin cephe sistemlerinin elde edilmesini sağlamaktadır (Loonen, vd. 2017). Bu kontrol

sistemleri, içerisindeki sensör-kontrol yapay zekası ve aktüatörlerle bir mekanizma oluşturarak çevreden alınan girdileri işleyip cephe bileşenlerinde uyarlanabilir hareketi gerçekleştirecek çıktılara dönüştürür (Elkhatay, 2014; Loonen vd. 2017). Şekil hafızalı veya diğer akıllı malzemelerin oluşturduğu kinetik cephelerde, herhangi bir mekanik, elektronik sisteme ve dışarıdan sağlanacak bir enerjiye ihtiyaç duyulmadan, malzemenin kendi gelişmiş özelliğinden kaynaklı olarak algılama ve çalıştırma süreçleri işletilebilmektedir (Formentini, Lenci, 2018). Aşağıdaki diyagram (Şekil 3), kinetik cephe sistemlerinin algı-çalışma süreçlerindeki işleyiş mekanizmasını, katmanlarını ve katmanlar arasındaki ilişkileri göstermektedir.

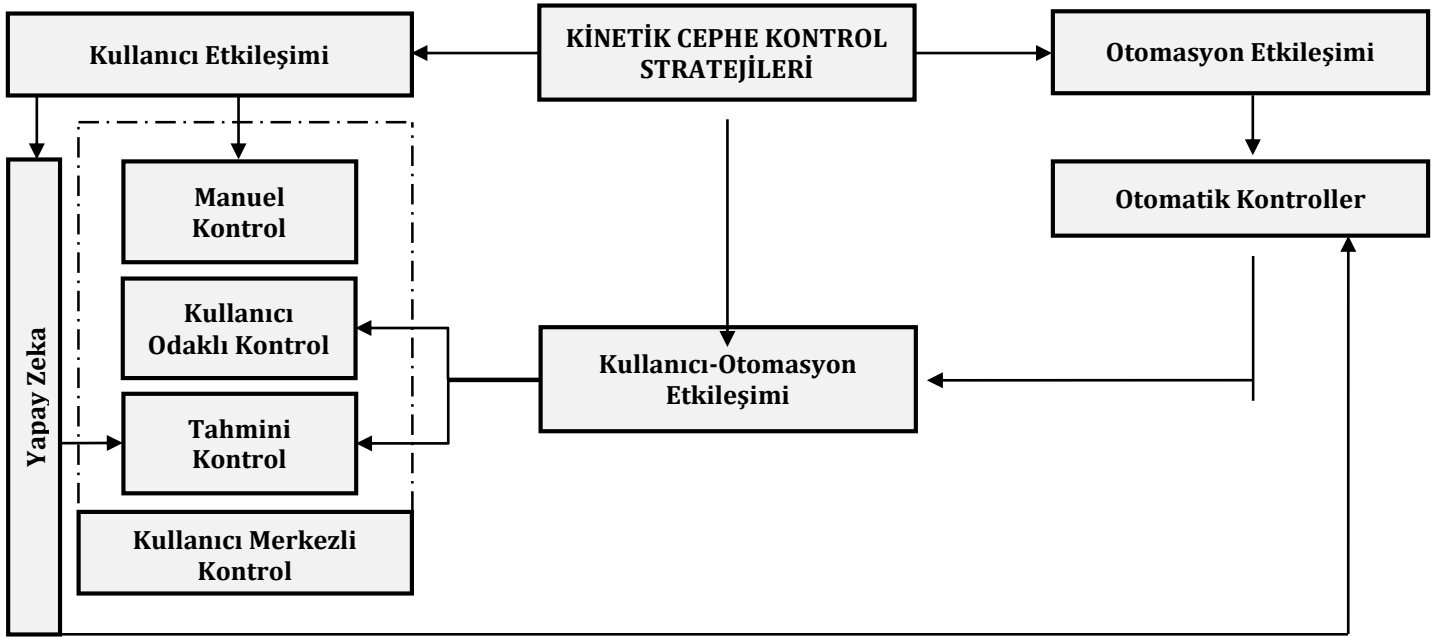


Şekil 3. Kinetik Cephe ve Bina Hizmet Sistemlerindeki Kontrol Mekanizması İlişkisel Diyagramı (Loonen, vd. 2017. s.209'dan Uyarlanmıştır)

Diyagramda gösterildiği gibi sensörler, işlemciler ve aktüatörlerden oluşan bir kontrol yönetim sistemi, kinetik cephe sistemlerinin uyarlanabilirliği sağlayan mekanizmasındaki algılanan değişkenler ile aktüatör eylemleri arasındaki bağlantıyı belirli bir kontrol mantığı aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Adaptif cephelerdeki kontrol sistemleri dışsal (aktif) ve içsel (pasif) sistemler olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Loonen, vd. 2017; Alkhatib, vd. 2021; Albag, vd. 2020). Dışsal (geri dönüslü-kapalı döngü) kontrol; otomatik düzenlemeye dayanan ve sensörler, işlemciler, aktüatörler ve kontrol mantığından oluşan sistemlerdir. Farklı koşullara, bu koşullar tasarım aşamasında beklenmiyor olsa bile, tepki verip binadaki farklı sistemlerle reaksiyona girebilir. İçsel (doğrudan-açık döngü) kontrol ise; cepheyi oluşturan malzemenin kendini ayarlama davranışı sayesinde harici karar verme girdileri olmadan çevresel koşullardan karar alıp, daha az enerjiye ve kontrol yönetim donanımına ihtiyaç duyarak hemen harekete geçebilir (Alkhatib, vd. 2021; Albag, vd. 2020). Gölgeleme cihazlarının hareketini belirleyen kullanıcı talepleri ve iklim koşullarına göre günışığı alma, görsel konfor, fazla günışığı kazancını engelleme gibi kontrol stratejileri, elektronik ve akıllı malzeme teknolojisinin sunduğu imkanlar ile bu içsel veya dışsal kontrol sistemleri aracılığıyla gerçekleşmektedir.

Otomatik ve/veya kullanıcı merkezli stratejileri barındıran kontrol sistemleriyle yönetilen kinetik gölgeleme cihazlarının kontrol sistemlerinde bulunan yazılımlar, programlar, internet, akıllı malzemeler ve algılama ekipmanları sayesinde iç ve dış çevre koşulları, hesaplamalı algoritmalar gibi etkileşim yolları aracılığıyla öğrenilir ve cephenin anlık olarak bu koşullara optimum tepkiyi vermesi sağlanır (Samir, Shahin, 2018.; Sherbini ve Krawczyk, 2004.; Tabadkani, vd. 2021.). Otomatik kontrol sistemlerinde gölgeleme cihazları; parlamayı ve doğrudan günışığı varlığında tutarlı günışığı performansını sağlamak ve kullanıcı tercihlerini hesaba katmadan aydınlatma yüklerini azaltmak için günışığının durumuna göre otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Kullanıcı

merkezli kontrol sistemlerinde ise gölgeleme cihazları; manzara, görsel mahremiyet, gün ışığı algısı ve gölgelendirme estetiğine bağlı olarak kullanıcıların bireysel tercihlerine göre manuel bir şekilde kullanıcılar tarafından kontrol edilebilmektedir (Tabadkani, vd. 2021.). Tabadkani ve diğer yazarların (2021) araştırmalarında elde ettiği bulgulara göre, otomatik ve kullanıcı etkileşimli kontrol stratejilerinin kombinasyonu olarak kullanıcıların, yapay zekaya dayalı veya otomatik olarak kontrol edebildiği gelişmiş sistemler de mevcuttur. Aşağıdaki diyagram (Şekil 4), kinetik cephe kontrol stratejilerini gösteren araştırma çerçevesini sunmaktadır.



Şekil 4. Kinetik Cephe Sistemlerinin Kontrol Stratejileri İlişkisel Diyagramı (Tabadkani, vd. 2021. s.2'den Uyarlanmıştır)

Diyagramda görüldüğü gibi kinetik cephelerin kontrol stratejileri için kullanıcı ve otomasyon etkileşimi olmak üzere temelde iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bu iki yaklaşımın alt stratejileri birbiriyle ilişkilenebilir olup yapay zeka teknolojisinin entegrasyonu ile optimum kullanıcı konforunu sağlamak için kinetik cephelerin tasarımında iki yaklaşımın kombinasyonu kontrol sistemleri geliştirilmektedir. Kinetik cephe sistemlerinin bünyesinde barındırdığı uyarlanabilirliği sağlayan katmanları olan: gerçek zamanlı çalışan otomatik ve/veya kullanıcı merkezli kontrol sistemi ve gelişmiş malzeme ve robotik teknolojinin birbiriyle entegre çalışan sistemi sayesinde genişliği performansı, enerji etkinliği ve kullanıcı konforu optimizasyonu sağlamaktadır.

2.2 Kinetik Cephe Tasarımı, Teknolojileri ve Örnek Kinetik Cephe Sistemleri

Dışsal mekanik ve/veya elektronik kontrol ve aktif sistemlerin olduğu kinetik cephelere karşılık; içsel kontrol ve pasif sistemlerin olduğu, uyarlanabilir performansın malzeme davranışıyla gerçekleştiği, şekil hafızalı ve akıllı malzemeleri içeren cepheler de vardır. Bu cepheler, özelliklerinden birini veya birkaçını (kimyasal, mekanik, elektrik, manyetik veya termal) değiştirerek çevresel uyaranlara tepki verir. Değişikliklerin doğrudan ve geri dönüşümlü olması ve sistemi etkinleştirmek için harici bir enerji kaynağının gerekmemesi dolayısıyla şekil hafızalı malzemeler, kinetik cephe sistemlerinde tercih edilebilir bir seçenektir. Bu çalışmanın odaklandığı alan olan yeni nesil kinetik cephelerin, rijit ve esnek bileşenlerinin uyum içinde çalışmasını sağlayan sistemlerinde; uyarlanabilirlik ilkelerine göre tasarlanmış biçim veya özellik açısından geri beslemeli olarak değişime uğrayan malzemeler, gelişmiş yapay zeka ve robotik teknolojisi, akıllı-otonom kontrol sistemleri; kontrol sistemini oluşturan sensör ve aktüatörler veya gelişmiş kontrol sistemi ve teknolojilere ihtiyaç duymadan doğal enerji kaynaklarını kullanarak cephede uyarlanabilme fonksiyonu sağlayan pasif uygulama teknolojileri gibi katmanlar bulunmaktadır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 2) analiz edilmek üzere; elektro-mekanik, pasif, bilgi ve gelişmiş malzeme sistemleri olmak üzere farklı teknolojilerin kullanıldığı ve merkezi, merkezi olmayan, malzemeye dayalı kontrol sistemi ve pasif olup kontrol sistemi buldurmeyen olmak üzere farklı sistemlerde, her sistem için 2'şer olup toplam 8 kinetik cephe örneği seçilmiştir. Aşağıdaki maddelerde, bu örnek kinetik cephe sistemlerinin; içerdiği teknolojiler, tasarım özellikleri ve fonksiyonları bakımından karşılaştırmalı olarak analizi yapılmıştır.



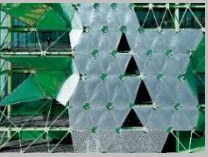
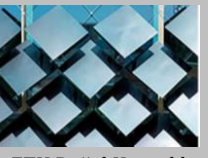




- 1. ve 2. örnekler elektro-mekanik teknolojiye sahip olup bu teknoloji; parçaların standardizasyonu, modüler tasarım bileşenleri, ucuz başlangıç maliyeti ve merkezi izleme ve kontrol gibi avantajlara sahiptir. Bu teknolojinin dejavantajları ise; yüksek bakım ve onarım maliyetleri, sınırlı bileşen dayanıklılığı, yüksek enerji tüketimi ve tek aktüatöre bağlı değiştirilemeyen kontrol olarak sıralanmaktadır. Dışsal kontrol sınıfına giren merkezi kontrol sisteminde; sensörler, aktüatörler ve kontrol işlemcisi birden fazla çevre koşulunu yerel olarak

kontrol etmek için entegre edilerek cephelerin, çevre şartlarına cevap verebilen bir denetleyici kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmesi sağlanmaktadır (Matin ve Eydgahi, 2022). 2. örneğin tasarımında benimsenen üretken tasarım sistemleri farklı olup; 1. örnekte kural tabanlı tasarım sisteminin alt sınıfı olan biçim grameri diğerinde ise evrimsel tabanlı tasarım sisteminin alt sınıfı olan genetik algoritmalara dayalı tasarım sistemi kullanılarak kinetik cephe tasarımı ortaya konmuştur. Üretken tasarım sistemleri, 3. ve 4. başlık altında detaylıca açıklanarak aktarılmıştır. 1. örnekteki kinetik cephe sisteminde, güneşin izlediği yolu takip eden otomatik kontrol sistemi ile; akşamları tüm yüzeyler kapanmakta, gündüzleri ise güneşin binanın etrafındaki konumuna bağlı olarak tüm yüzeyler hareket etmektedir (Alkhayat, 2013). Bu şekilde binada parlamayı azaltma, güneş koruması ve enerji korunumu gibi fonksiyonlar gerçekleştirilmektedir. 2. örnekte ise cephe modüllerinde bulunan aktüatörler, karmaşık elastik deformasyon oluşturmak için sıkıştırma kuvvetleriyle panelleri hareket ettirerek gündüzleri doğal ışığın mekana alınmasını sağlayarak parlamayı azaltma, güneş koruması ve enerji korunumu gibi fonksiyonları gerçekleştirmekte, geceleri ise ışıklandırma aracılığıyla görsel olarak estetik bir etki yaratmaktadır (Knippers, vd. 2012).

- 3. ve 4. örnekler bilgi teknolojisine sahip olup bu teknoloji, cephedeki birbirine bağlı panellerin mikrodenetleyiciler tarafından kontrol edilmesini sağlamak ve yerel sensörler, aktüatörler tarafından yürütülen uygulamalar için işleme ve kodlama amacıyla bu mikro denetleyicilere veri sağlamaktadır (Matin ve Eydgahi, 2022). Merkezi olmayan kontrol sistemiyle yönetilen bu örneklerde kinetik cepheyi oluşturan her bir eleman; küçük, daha az maliyetli ve daha az güçlü bir bilgisayar veya mikro-işlemci olan tek bir denetleyici tarafından aktive ve kontrol edilmektedir (Yekutieli ve Grobman 2014). 3. örnekteki cephe modüllerini oluşturan ETFE hava yastıkları, güneş ısısını ve ışığını algılamak için sensörlerle donatılmış olup bu sensörlerin günışığına bağlı tepkisi, cephe modüllerinde şişirme ve sönme gibi değişim oluşturarak cephe görünümünü de etkileyip bina için güneş koruması ve enerji etkinliği sağlamaktadır (Matin ve Eydgahi, 2022; Elkhayat, 2014). 4. örnekte ise, fotovoltaik panelli kinetik cephe modüllerinin dinamik dönüşümü sayesinde; gölgeleme, günışığı dağıtımı ve bina için elektrik enerjisi üretimi gibi fonksiyonlar gerçekleştirilerek binada enerji etkinliği ve günışığına bağlı kullanıcı konforu arttırılmaktadır (Nagy, vd. 2016).
- 5. ve 6. örnekler malzemeye dayalı teknolojiye sahip olup bu teknoloji, mekanik ve elektro-mekanik sistemlere ihtiyaç duyulmadan malzeme bazlı aktüatörlerle kinetik sistemin yönetilmesine dayanmaktadır. Bu aktüatörler; ışık ve sıcaklık değişimleri, kimyasal maddeler, manyetik alan kuvvetleri ve elektrik akışları gibi dış sinyallerle uyarılarak malzemedeki moleküler değişikliğe dayalı olarak çalışmaktadırlar. Bu sistemlerde sensörler, aktüatörler ve kontrol sistemleri bir malzemede birleşerek harici enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmamaktadır (Matin ve Eydgahi, 2022). Şekil hafızalı malzemeler başta olmak üzere pek çok akıllı malzemelere ve faz değiştiren malzemelere sahip sistemler bu teknolojiye örnektir. 5. örnekte, ahşabın farklılaştırılmış malzeme özellikleri ve performansı hesaplamalı tasarım ve üretim sürecine entegre edilerek iklimle duyarlı ve karmaşık morfolojiye sahip bir kabuk elde edilmiştir. İklim koşullarına ve bağlı nemdeki değişikliklere tepki verebilen bu kabukta, nem kontrolü düzenlenmesi ve ışık geçirgenliği kontrolü fonksiyonları gerçekleştirilmektedir (Reichert, vd. 2015). 6. örnek, termo-bimetal panellerden oluşup yapay enerji yardımı olmadan güneş enerjisi ile ısınmaya dayalı olarak lamellerini hareket ettirebilen pasif bir sistemle çalışmaktadır. Kinetik mekanizması ile; güneş koruması, gölgeleme, havalandırma, parlamayı azaltma gibi fonksiyonları gerçekleştirmektedir (Barozzi, vd. 2016).
- 7. ve 8. örnekler pasif teknolojiye sahip olup bu teknoloji, cephe sisteminin elektrik ve manuel güce bağlı çalışması yerine güç kaynağı olarak rüzgar, su, güneş ışığı gibi doğal kaynaklarının kullanılmasına dayanmaktadır. Bu cephelerin, mekatronik güç kaynaklarından bağımsız çalışabilmesi, minimalist tasarım ve az bakım gerektirip az maliyetli olması gibi avantajları varken; cephenin herhangi bir kontrol sistemine sahip olmaması nedeniyle öngörülemez durumlarda tepki verme özelliğine sahip olmaması gibi dezavantajı da mevcuttur (Matin ve Eydgahi, 2022). 7. örnekte, kinetik cepheyi oluşturan rüzgarın etkisiyle serbestçe hareket edebilen küçük alüminyum paneller, rüzgarı içeri alıp binayı doğal olarak havalandırmanın yanı sıra farklı ışık gölge desenleri oluşturarak güneş koruması ve gölgeleme de sağlamaktadır (URL-4). 8. örnekte ise, otel binasının atriyumunun cephesi boyunca uzanan ve pasif bir sistem olup rüzgar enerjisiyle çalışan kinetik cephe, rüzgar hareketi ve günışığının yansımalarıyla çeşitli desenler oluşturarak fazla günışığı kazanımını önleyip havanın ve ışığın atriyum alanına iletilmesini sağlamaktadır (Khoo, 2013).

Farklı teknolojilere ve bu teknolojilerin içerdiği sistemlere göre çeşitlenen kinetik cepheler, yukarıdaki analizlerden anlaşılacağı üzere; fonksiyonelliği, estetik etki oluşturan tasarımı ve günışığına bağlı performansı sayesinde binanın sürdürülebilirliğine katkı sağlamakta olup kullanıcıların termal ve görsel konfor seviyesini arttırmaktadır. Ayrıca fotovoltaik panelli sistemlerde günışığından faydalanarak binanın kendi elektrik enerjisini üretmesini, pasif sistemlerde doğal havalandırılmasını ve tüm sistemlerde günışığının etkin kullanımına bağlı olarak iç mekanda oluşturulan termal yalıtım ile binanın işletim maliyetininin düşürülmesini sağlamaktadır.

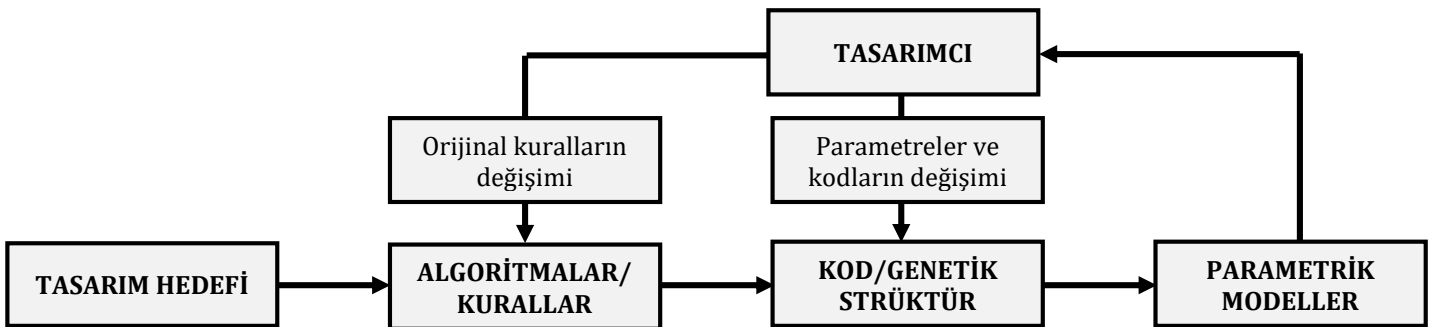
Tablo 2. Örnek Kinetik Cephe Sistemlerin İçerdiği Sistem Katmanları Açısından Analizi

 <p>1. Al Bahar Kuleleri / Origamiye Dayalı Kinetik Cephe (URL-5)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: Aedas Architects / Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri-2012
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Parlamayı azaltma, güneş koruması, enerji korunumu
	Aktüatör: Her güneş kırıcı modül, binayı aşırı güneş ışınlarına maruz kalmaktan önemli ölçüde korumak için doğrusal bir aktüatör tarafından çalıştırılmaktadır.
	Malzemeler: Politetrafloroetilen (PTFE) malzemedan yapılmış, boşluklu üçgen biçimli modüler panellerden oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Merkezi kontrol sistemi	
 <p>2. One Ocean Tematik Pavilyonu Expo / Biyo-Tabanlı Kinetik Cephe (URL-6)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: Soma Architecture / Yeosu, Güney Kore-2012
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Parlamayı azaltma, güneş koruması, enerji korunumu
	Aktüatör: Güneş kırıcı panellerin her birinde, bu panellerin geri dönüşümlü deformasyona uğramasını sağlayan bilgisayar kontrollü mekanik aktüatörler bulunmaktadır.
	Malzemeler: Cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) güneş kırıcı panellerinden oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Merkezi kontrol sistemi	
 <p>3. TIC Binası / Pnömatik Kinetik Cephe (URL-7)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: Cloud-9 Mimarlık Ofisi / Barselona, İspanya-2011
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Güneş koruması, enerji etkinliği
	Aktüatör: Malzeme, mekanik aktüatörlere ihtiyaç duymadan pnömatik tabanlı aktüatörler sayesinde şekil değiştirebilme özelliğine sahiptir.
	Malzemeler: Şişirilebilir ETFE yastıklarından yapılmış cephe modüllerinden oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Merkezi olmayan kontrol sistemi	
 <p>4. ETH Doğal Kaynaklar Evi / Fotovoltaik Panelli Kinetik Cephe (Matin ve Eydgahi, 2022)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: Laboratory of Sustainable Construction / Zürih, Almanya-2015
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Enerji üretimi, cephe opaklığını düzenleme, güneş koruması
	Aktüatör: Yumuşak robotik pnömatik aktüatörler bulunmaktadır.
	Malzemeler: Her bir fotovoltaik panel; foto ve UV sensörlerinden, pnömatik basınç sensörlerinden, yumuşak gövdeli aktüatörlerden ve yumuşak gövdeye gömülü olan mikro-denetleyicilerden oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Merkezi olmayan kontrol sistemi	
 <p>5. Meteorosensitive Pavilyon / Malzemeye Dayalı Kinetik Cephe (Matin ve Eydgahi, 2022)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: Achim Menges Architecture / Fransa-2013
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Nem kontrolü-düzenlenmesi, ışık geçirgenliği kontrolü
	Aktüatör: Malzeme teknolojisine dayalı aktüatör bulunmaktadır.
	Malzemeler: Kompozit veneer malzemedan oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Malzemeye dayalı kontrol sistemi bulunmaktadır.	
 <p>6. Bloom / Malzemeye Dayalı Kinetik Kabuk (Barozzi, vd. 2016)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: DO SU Studio Architecture / Los Angeles, Kaliforniya-2012
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Güneş koruması, gölgeleme, havalandırma, parlamayı azaltma
	Aktüatör: Malzeme teknolojisine dayalı aktüatör bulunmaktadır.
	Malzemeler: Termo-bimetallerinden oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Malzemeye dayalı kontrol sistemi bulunmaktadır.	
 <p>7. Charlotte Park Garajı / Pasif Teknolojili Kinetik Cephe (URL-4)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: Ned Kahn / Charlotte, Kuzey Karolina-2000
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Güneş koruması, gölgeleme, doğal havalandırma
	Aktüatör: Rüzgar enerjisi
	Malzemeler: Alüminyum malzemedan oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Pasif teknoloji ile çalışan cephede kontrol sistemi bulunmamaktadır.	
 <p>8. Marina Bay Oteli / Pasif Teknolojili Kinetik Cephe (Matin ve Eydgahi, 2022)</p>	Tasarımcı / Yer-Yıl: Ned Kahn / Singapur-2011
	Cephe Tasarım Fonksiyonu: Güneş ışığı ve ısı koruması, doğal havalandırma, ışık geçirgenliği kontrolü
	Aktüatör: Rüzgar enerjisi
	Malzemeler: Alüminyum malzemedan oluşmaktadır.
Kontrol Sistemleri: Pasif teknoloji ile çalışan cephede kontrol sistemi bulunmamaktadır.	

Çağdaş mimarideki artan karmaşık tasarım problemlerinin çözümünde bu sistemler, geleneksel sistemlere göre daha efektif olmaktadır. Öte yandan kinetik sistemlerin ayarlanabilme özellikleri, oldukça gergin menteşelerle bağlanmış rijit elemanlarla sağlandığı için düzensiz geometrilerde uyum bir problem haline gelmekte ve bu durum kullanılan cihazlarda masraf ve sürekli arızalanmayı ortaya çıkartıp, yoğun bir şekilde bakım yapılmasını gerektirmektedir (Schleicher, vd. 2015). Bu bağlamda kinetik cephe tasarımlarının uygulanmasında ve işletim sürecinde hata payını minimize etmek için, parametrik ve algoritmik tabanlı modelleme, simülasyon analiz ve senkronize uygulama araçlarını içeren Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisinin etkin kullanımı ile optimum tasarım morfolojisini, morfolojik dönüşümünü, hareket mekanizmasını ve zamanlamasını belirleyen konfigürasyonların yapılması önem kazanmaktadır.

3. BIM ORTAMINDA KİNETİK CEPHE TASARIM YÖNTEMİ OLARAK ÜRETKEN TASARIM VE KİNETİK CEPHE TASARIM PROSEDÜRLERİ

BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) teknolojisi, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca dijital bilgilerin oluşturulmasını, kaydedilmesini ve yönetilmesini sağlayan bir dizi kural, prosedür ve teknolojiyi kapsayan bir dijital platformdur (Ma, vd. 2021). Günümüzde kinetik cephelerin tasarım ve modelleme ile üretim tekniklerine ilişkin yeni sayılabilecek bir paradigma olan üretken (Generative) tasarım ise, parametrik (sınırlara bağlı) ve algoritmik (kurallara bağlı) düşünme-modelleme sistemine dayalı bir BIM tabanlı süreç ve tasarım teknikleri bütünüdür (Menges, Ahlquist, 2011; Leach, 2009; Ma, vd. 2021). Üretken tasarımın parametrik model elde etme sürecinde; değişkenler ve dijital veri akışları oluşturulmakta, parametrelerin değerleri ayarlanmakta ve kurallar buna göre belirlenmektedir. Oluşturulan kural setleri, parametrik tasarımın 3 boyutlu modellerini yapılandırma temel tasarım prosedürleri haline gelmektedir (Oxman, Gu, 2015). Üretimsel tasarımda ortaya konulan tasarım hedefleri ile beraber kullanıcılar tarafından tanımlanan kısıtlamaları ve kuralları da karşılayan farklı modeller oluşturularak, çoklu tasarım seçeneklerini otomatik olarak optimize etmek amaçlanmaktadır. Süreç sonunda elde edilen parametrik model, şekil-5'te gösterildiği gibi başa dönülmeden kurallar ve algoritmalar veya komut dosyası değiştirilerek kolayca değiştirilebilir (Henriquez, vd. 2022). Bu sayede tasarımcılar tasarım alternatiflerini, her aşamada paralel olarak geliştirebilmekte ve herhangi bir aşamada değiştirip modifiye edebilmektedir.

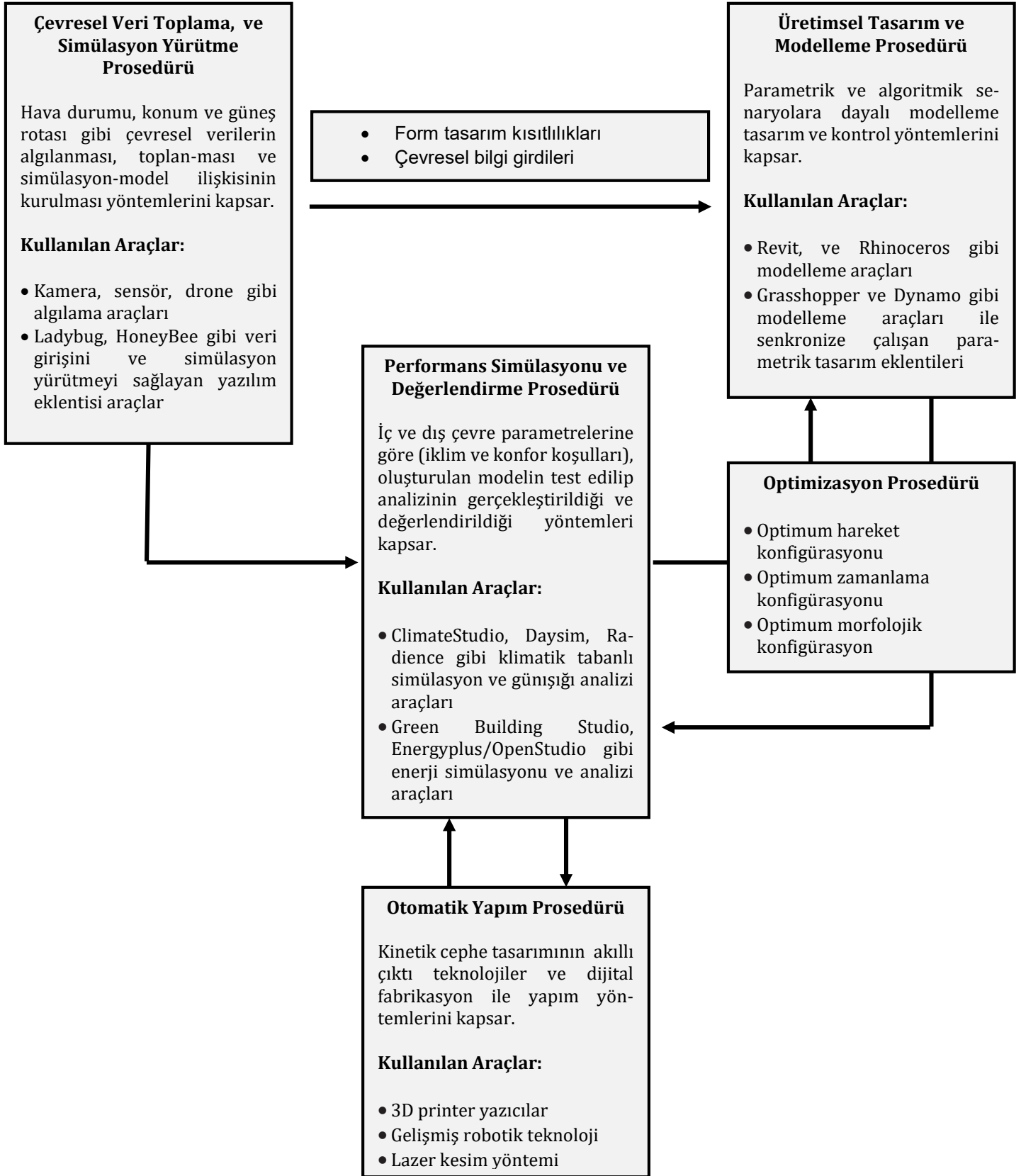


Şekil 5. Üretken Tasarım Sürecinin İlişkisel Akış Şeması (Ma, vd. 2021. s.3 ve Henriquez, vd. 2022. s.4'den Uyarlanmıştır)

Üretken tasarım sistemleri, karmaşık kompozisyonların basit bir dizi denklem ve parametre uygulaması yoluyla formüle edilerek tasarımcıların karmaşık tasarım zorluklarını hızlı bir şekilde keşfetmesini, optimize etmesini, bilgiye dayalı kararlar almasını ve böylece bilgisayar ile insan arasında efektif ve entegre bir iş akışının kurulmasını sağlamaktadır (Ma, vd. 2021). Tasarım perspektifi açısından üretken sistemlerin ana katmanı olan parametrik şemanın tasarım sürecindeki rolü; keşfedici bir mekanizma sağlamak, varyasyon oluşturmak ve dönüşümsel süreçler için bir ortam yaratmaktır (Oxman, Gu, 2015). Bu şemanın okunabilirliği, diğer ekip üyelerinin modeli ne kadar kolay değiştirebileceğini ve yeniden kullanabileceğini belirlemede merkezi bir faktördür. Ayrıca büyük ölçekli ve karmaşık yapıya sahip modellerin tasarımında modeli oluşturan parametrik şemanın yapısı, içerdiği iç içe geçmiş ilişkileri anlamlandırmada da kritik öneme sahiptir (Davis, vd. 2011).

Parametrik tasarım odaklı bir düşünce ve eylem sistemine dayalı yazılımları barındıran Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojisi, kinetik cephe tasarımı için kullanışlı ve verimli bir ortam sağlamaktadır. Kinetik cepheler için bilgisayar destekli bir tasarım metodu sağlayan üretken tasarım sistemi, geometrik modelleme ile tasarım keşfini sağlamakta ancak "bilgi" özelliklerinin oluşturulmasında ve modelin bu bilgilere göre analizinde başka araç ve yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Ma, vd. 2021). Analiz, simülasyon, kontrol ve optimizasyon fonksiyonlarını gerçekleştiren bu BIM araçlarının, üretken tasarım sürecinin yürütüldüğü modelleme araçlarıyla birlikte oluşturduğu entegre ve senkronize çalışma sistemi, kinetik cephe tasarımı için seri bir şekilde çoklu varyasyonların üretilip belirlenen kriterlere göre bu varyasyonların değerlendirilmesini ve optimize edilmesini sağlamaktadır (Güzer, vd. 2016; Shen,

Wu, 2016; Wang, vd. 2010). Yapılan araştırmalar sonucunda BIM tabanlı kinetik cephe üretim senaryosunun, yukarıda sayılan araçların oluşturduğu senkronize ilişkiye dayalı sistemde; Çevresel Veri Toplama ve Simülasyon Yürütme, Üretimsel Tasarım ve Modelleme, Performans Simülasyonu ve Değerlendirme, Optimizasyon ve Otomatik Yapım olmak üzere 5 ana prosedürde gerçekleştiği anlaşılmıştır. Erken tasarım, geç tasarım ve uygulama süreçlerini kapsayan bu prosedürlerin detayları ve ilişki durumları, aşağıdaki şekilde (Şekil-6) gösterilmiştir (Panya vd. 2020; Shen, Wu, 2016; Ma, vd. 2021; Soleimani, 2019).



Şekil 6. Kinetik Cephe Üretim Senaryosunu Oluşturan Prosedürlerin İlişki Çerçevesi

Revit ve Rhinoceros gibi modelleme araçları, kullanıcı kararlarını doğru bir şekilde etkileyen veriler oluşturmak için matematiksel yöntemlerle çalışmaktadır. Modelleme sürecinde, matematiksel algoritma yoluyla analitik çözümler ve denklemler birleştirilerek geometrik model görselleştirilmektedir. Parametrik modellerin oluşumu, gereksinimleri temel alan hesaplamalı bir sayısal olarak modelleme ve analiz etme sürecinde gerçekleşmektedir (Panya, vd. 2020). Modelleme araçlarında üretilen modelin konfigürasyonları, Grasshopper ve Dynamo gibi modelleme yazılımlarıyla entegre ve senkronize çalışan eklenti yazılımlar aracılığıyla algoritmik ve parametrik sistemde otomatik olarak kontrol edilip değiştirilebilmektedir. Bu eklenti yazılımları, uyarlanabilir kinetik cephe tasarımı için tasarımcıların basitten karmaşığa değişen parametrik formlar oluşturmasına olanak tanıyan grafik algoritma düzenleyicileri olarak işlev görmektedir (Seyrek, vd. 2021).

Kinetik cephelerin üretim sürecinde ilk olarak bilgisayarlarla algılama ve sensör teknolojileri, çevresel verileri toplayarak tasarım kısıtlamalarını ve girdilerini oluşturmaktadır (Ma, vd. 2021). Enerji ve günışığı simülasyonlarının gerçekleştiği ClimateStudio, Radiance, EnergyPlus gibi araçlara Ladybug aracılığıyla veri olarak aktarılan çevresel girdiler, yine bu araç üzerinden 3 boyut arayüzünde anlaşılması kolay analiz grafik ve diyagramlarına dönüştürülmektedir. Diğer simülasyon yürütme aracı olan HoneyBee ise, simülasyon motorlarını Cad yazılımlarına bağlayıp ayrıntılı gün ışığı ve termodinamik modellemeyi desteklemektedir (Seyrek, vd. 2021). Yani, modelleme ve parametrik eklenti araçları işbirliğinde oluşturulan model çıktısı, iklim tabanlı simülasyon araçlarının kombinasyonu ile analiz edilir ve çıkan sonuçlar cephe performansı açısından LadyBug ve HoneyBee gibi eklentiler aracılığıyla; EnergyPlus, Radiance, Daysim ve ClimateStudio gibi simülasyon yazılımları kullanılarak değerlendirilmektedir (Panya, vd. 2020; Seyrek, vd. 2021). Değerlendirme sonucunda tasarımda optimum çözümlere ulaşmak için kinetik cephe modelinin farklı konfigürasyonlarına dayalı varyasyonları türetilerek, performansı geliştirmek üzere optimizasyonu gerçekleştirilmektedir.

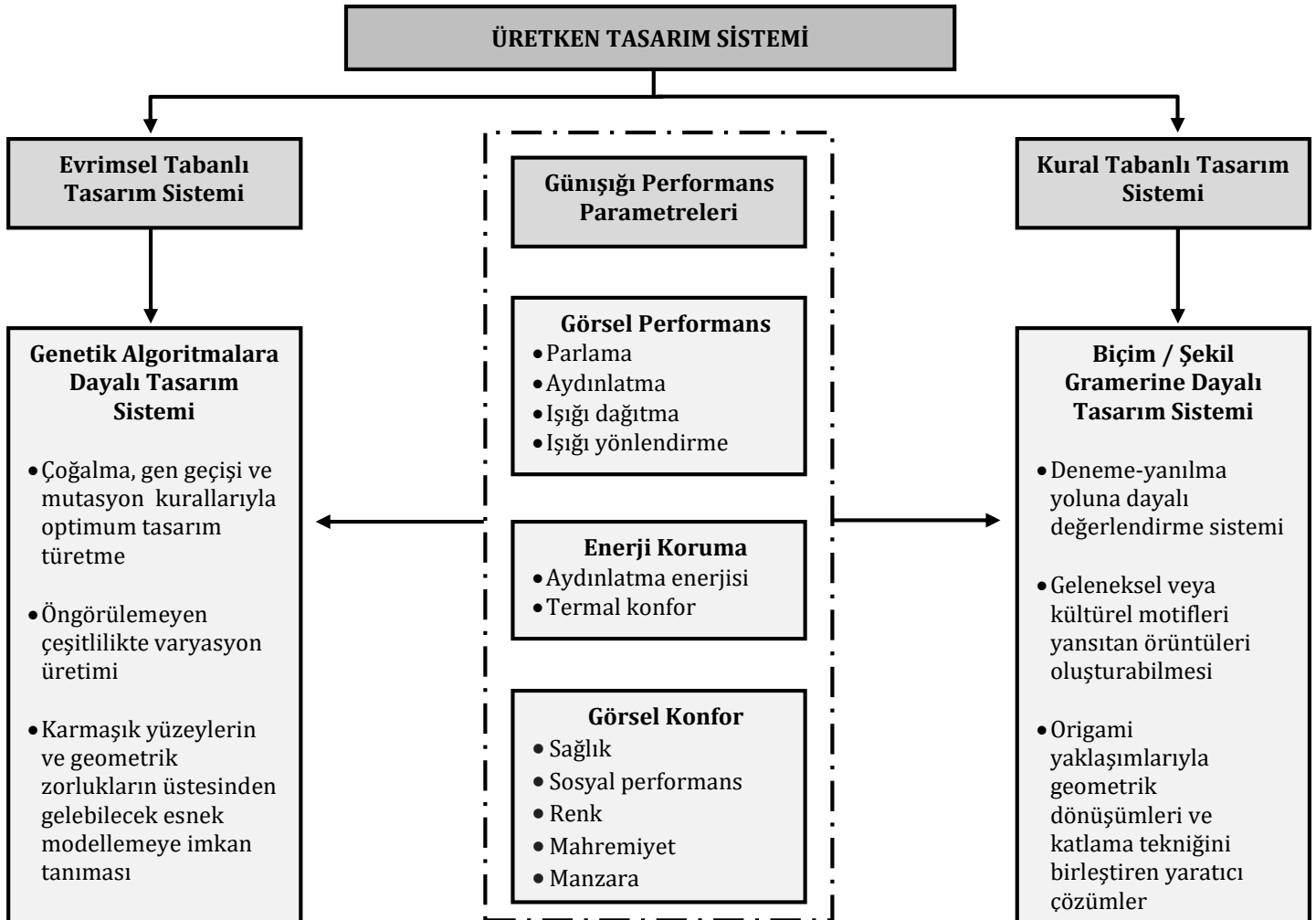
Optimizasyon sonucunda elde edilen varyasyon veya varyasyonların prototip oluşturulmak üzere dijital entegrasyona dayalı çağdaş teknolojilerle fiziksel olarak meydana getirilmesiyle, dijital modelde tanımlanmış malzemelerin kinetik davranışı fiziksel bir model üzerinde test edilmiş olur. Bu test ve optimizasyon mekanizmasını; dijital modellerle sanal model arasındaki veri alışverişini sağlayan kullanıcı arayüzlü yazılımlar ve dijital modellerin bağlı olduğu, bu aracı yazılımlarla senkronize çalışan ve geri besleme düzeneğine sahip robot teknolojisi olan servo-motorlar oluşturmaktadır (Mallasi, 2018). Kinetik cephe oluşum senaryosunun son aşaması olan otomatik yapım prosedürü, dijital teknoloji ve sanal tasarım ortamıyla entegre çalışan robotik, 3 boyutlu yazıcı ve lazer kesim yöntemlerinin kullanıldığı yapım sürecidir (Ma, vd. 2021; Soleimani, 2019). Yapay zeka destekli bu yapım teknolojileri sayesinde tasarım prototipi oluşturulup ortaya çıkan modelin önceden test edilmesiyle; inşa sürecindeki hata payı minimize edilerek erken tasarım aşamasında kinetik cephe tasarımına yönelik yapılan optimizasyonlar sonucu doğru kararlar alınacağı için tasarım ve projelendirme sürecinde zaman ve maliyet açısından da tasarruf sağlanmaktadır.

Bu yöntemlerin kullanıldığı 5 farklı prosedürde gerçekleşen kinetik cephe tasarım sürecinde, üretilecek olan kinetik cephe modelinin günışığı ve enerji etkinliği kriterleri açısından performansını arttırmak amaçlı tasarım optimizasyonu; birbiriyle entegre, eş zamanlı, parametrik ve senkronize bir sistemde çalışan yazılımların ve fiziksel model üretim teknolojisinin işbirliğinde gerçekleşmekte olup tüm süreç tasarımcı veya tasarımcıların kontrolünde, herhangi bir aşamada değişikliklerin yapılabildiği esnek bir mekanizmada yönetilmektedir. Birbirine bağlı prosedürlerde tasarım süreci yürütülen kinetik cephelerin tasarımında benimsenen farklı yaklaşımlar ve süreç boyunca kullanılan farklı teknikler söz konusudur. Tasarım yöntemi, bu yaklaşım ve tekniklerin hangisinin benimseneceğine bağlı olarak belirlenmekte olup, üretilen modelin günışığı ve enerji etkinliği açısından performansını arttıran optimizasyonu, belirlenen tasarım yöntemlerinin kombinasyonu ile gerçekleşmektedir. Bu yöntemlerin belirlenmesinde ise tasarım sürecinde kullanılan modelleme, simülasyon ve analiz araçlarının sınırlamaları, tasarımcı kaynaklı sınırlamalar, tasarlanacak olan kinetik cephenin özellikleri, morfolojisi (biçimi-fiziksel özellikleri) ve gerçekleştirilmesi istenilen fonksiyonları gibi faktörler etkili olmaktadır.

4. BIM ORTAMINDA KİNETİK CEPHE TASARIM YAKLAŞIMLARI VE ÜRETKEN TASARIM SİSTEMLERİ

Kinetik cephe tasarımında ortaya konan üretken model; üretici kurallardan, ilişkilerden ve ilkelerden türeyen biçimlerin ortaya çıkışıyla ilgilenen karmaşık mekanizmaların tasarımına dayanmaktadır (Oxman, 2006). Oxman (2006) yazısında, üretken dijital tasarım modellerinin biçimlendirilmiş üretim süreçleri için; hesaplama mekanizmalarının sağlanmasıyla karakterize edildiğini ve bu modeli oluşturan şekil ve formların önceden formüle edilmiş üretken süreçlerin bir sonucu olarak kabul edildiğini aktarmaktadır. Üretken tasarım sürecinde, bütünü oluşturan parçalar arasındaki strüktürel ilişkiler ve biçimsel potansiyelleri keşfetmeyi sağlayan linguistik (dilsel) kurallar önemli rol oynamaktadır (Arida, 2000). Yapılan literatür taramalarından yola çıkarak üretken tasarım sistemlerindeki model oluşumu için, bu ilişkilerin ve kuralların morfolojiye dönüşümünde kullanılan temelde iki farklı tasarım sisteminin olduğu anlaşılmıştır. Bunlardan biri olan evrimsel tabanlı tasarım sisteminde; doğadaki

tasarımların, sistemlerin ve süreçlerin incelenmesi yoluyla insan sorunlarına çözüm bulmak için bu süreç ve sistemlerden ilham alan biyomimikrinin prensipleri kullanılarak, kinetik cephe tasarımında sürdürülebilirliği sağlayan fonksiyona sahip morfolojik çözümler araştırılmaktadır (Radwan, Osama, 2016). Bir diğeri olan kural tabanlı tasarım sisteminde ise; kinetik cephe tasarımı için en çok kullanılan alt sistem: Biçim veya şekil gramerine dayalı tasarım sistemidir. Alkhayat'ın (2013) aktardığına göre Knight (2000), şekil gramerine dayalı tasarım sistemini; orijinal şekiller üzerinden gerekli ilişki tiplerini formüle ederek alternatif tasarımlar üretebilen, modifikasyon temelli, tanımlayıcı ve üretici kurallar olarak tanımlamaktadır. Şekil-7'deki diyagram, kinetik cephe tasarımında kullanılan üretken tasarım sistemlerini alt sınıflarına ayırmakta ve bu sistemlerde bağlı kalınan günışığı performans parametrelerini göstermektedir.



Şekil 7. Kinetik Cephe Üretimsel Tasarım Sistemlerinin Sınıflandırılması ve Günışığı Performans Parametreleri

Biçim gramerine dayalı tasarım, hesaplamalı olarak dönüşüm kuralları yoluyla şekil oluşturma mekanizmasına dayalı bir tasarım sistemidir (Oxman, 2006). Biçim gramerine dayalı tasarım sisteminin hesaplama mekanizması; noktaların, çizgilerin, düzlemlerin ve hacimlerin temel geometrik bileşenlerini kullanmaktadır. Biçim grameri tasarım sistemi, optimum çözümler üretmek için kurallar uygulayarak mevcut üretmenin tasarım sorununa uyup uymadığını belirleyen bir değerlendirme mekanizması kullanıp, tasarım problemini deneme yanılma yoluyla ele almaktadır. Tasarımcıya, model üzerindeki parametreleri ayarlayarak her adımda tasarıma müdahale etmesine izin verip daha fazla kontrol imkanı sağlamaktadır (Arida, 2000). Biçim grameri üretken tasarım sistemi ile oluşturulan örüntüleri meydana getiren güneş kırıcı bileşenlerin origami tekniklerinden ilham alınarak tasarlanan kinetik mekanizması sayesinde, katlama tekniklerinin ve geometrik dönüşümlerin birleştirilmesiyle; yaratıcı, işletimi kolay ve esnek çözümler meydana getirilmektedir.

Evrimsel tabanlı tasarım sistemi ile bir kinetik cephe modelinin oluşumu, genetik kodlamaya dayalı evrimsel bir süreçte gerçekleşmektedir. Tasarımda belirli bir üretici mekanizmanın formülasyonu ve etkileşim türü esas olmakta ve genetik formun evrimi, genetik kodu tanımlayan kurallara dayanmaktadır (Oxman, 2006). Evrimsel tabanlı tasarım sistemindeki kinetik cephe modeli için form oluşturma süreci ve farklı model varyasyonları türetilerek optimum tasarım çözümüne ulaşma mekanizması, doğadaki canlı organizmaların hayatta kalmalarını

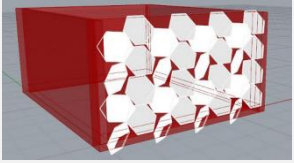
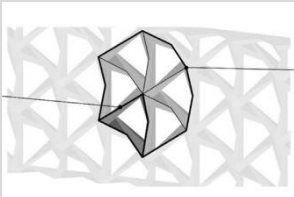
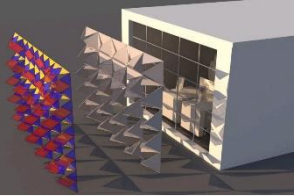
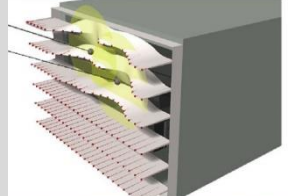

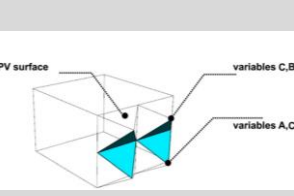
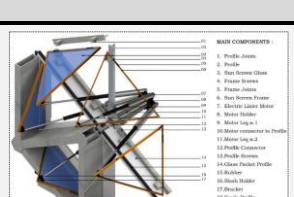
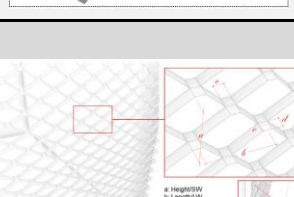
ve çevreye adapte olabilmelerini sağlayan genlerin mutasyon veya melezleme yoluyla nesiller boyunca aktarıldığı evrimsel mekanizmaya benzemektedir. Kinetik cephe modelinin evrimsel tabanlı sistemdeki üretim sürecinde; topolojik yüzey, izomorfik alan, kinetik iskelet, kuvvetler alanı ve parametrik modelin oluşturduğu hesaplamalı bir yapının eş zamanlı olarak manipüle edilmesiyle, öngörülemez çeşitlilikteki varyasyonlarda farklı alternatifler oluşturulabilmekte ve optimum tasarım çözümü için bu alternatifler değerlendirilmektedir (Kolarevic, 2001). Yapılan kapsamlı literatür taramasından yola çıkarak evrimsel tabanlı tasarım sisteminin bir alt türü olarak genetik algoritmalara dayalı tasarım sisteminin daha yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda makalede, evrimsel tabanlı tasarım sistemi olarak genetik algoritmalar alt sistemi ele alınmış ve bu tasarım sistemine sahip örnekler analiz edilip değerlendirilmiştir. Akıpek ve İnceoğlu (2007) yazılarında, genetik algoritma tasarım sisteminin; çoğalma, gen geçişi ve mutasyon kurallarının işlendiği kromozom sarmalı benzeri bir kural dizili yapıya sahip algoritmalar bulundurduğunu ve bu algoritma sarmalına, değerleri sürekli değişebilen parametrelerin işlenmesiyle oluşturulan “yapay organizma” yani tasarım modelinden optimum tasarım için farklı alternatiflerin türetilbildiğini aktarmaktadırlar. Biyo-esinli tasarım yaklaşımına sahip genetik algoritmalara dayalı tasarım sistemi, karmaşık yüzeylerin ve geometrik zorlukların üstesinden gelebilecek esnek modellemeye imkan tanınması yönünden de avantajlıdır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kinetik cephelerin BIM ortamındaki tasarımı ve modellenmesinde, temelde 2 farklı yaklaşımın benimsendiği ve bu yaklaşımların da 2 farklı tasarım sistemi içerisinde; farklı yöntem, yaklaşım, ve araçlarla ortaya konduğu yapılan araştırmalar sonucunda anlaşılmıştır. Biyo-ilhamlı tasarım yaklaşımına dayalı evrimsel tabanlı tasarım sistemi ve dilsel (linguistik) tasarım yaklaşımına dayalı kural tabanlı tasarım sistemi olarak ayrılan bu sistemlerin tercihi, ortaya konacak tasarımın; hedeflerine, kriterlerine, sınırlamalarına ve tasarımda etkili parametrelere (bağımlı-bağımsız değerlendirme değişkenleri) bağlıdır. Çalışmanın bir sonraki bölümünde, kinetik cephe tasarım ve optimizasyon süreçlerini, bu süreçlerde kullanılan yöntem, sistem ve araçların ilişkisi üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmek için Web of Science, Science-Direct ve Taylor and Francis veritabanındaki 2016-2023 yılları arasında yayınlanmış olan çalışmalardan, kinetik ve statik parametrik cephe tasarım önerilerinin olduğu dergi ve konferans makaleleri taranmış olup taranan makaleler arasından model tasarımında üretken tasarım sistemi olarak biçim grameri ve genetik algoritmalar sistemlerinin kullanıldığı 10 örnek seçilmiştir. Örnek çalışmalardan iki tanesinde (8 ve 10. örnekler) ortaya konmuş olan cephe tasarımı, kinetik sistem olmayıp statik parametrik cephe tasarımı tanımına girmektedir. Bu örneklerin seçilme amacı, performans dayalı kinetik parametrik cephe ile statik parametrik cephe sistemlerinin BIM ortamındaki tasarım ve optimizasyon süreçlerini de karşılaştırıp birlikte değerlendirerek bu süreçlerin barındırdığı parametreler bağlamında benzer ve farklı yönlerini ortaya koymaktır. Aşağıdaki tablolarda yer alan literatürden seçilmiş örnek çalışmalarda ortaya konmuş performans dayalı kinetik ve statik parametrik cephe tasarımları, tasarım süreci ve prosedürleri açısından bu prosedürlerin barındırdığı tasarım; sistemleri, yöntemleri, teknikleri, stratejileri ve araçlarının içerdikleri alt parametreler çerçevesinde analiz edilip değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Kinetik ve Statik Parametrik Cephe Tasarım Önerilerinin Tasarım ve Optimizasyon Süreci Açısından Analizi

Ref.	Yıl	İklim/ Konum	Uygulanan Mekan Tipolojisi/ Ölçeği	Kinetik Cephe Sistemi	Kinetik Dönüşümler	Öne Çıkan Güneşli Performansı Ve Enerji Etkinliğine Dayalı Fonksiyonu	Tasarım Görünümü
[1]	2022	Tropikal İklim / Tayland	Home Ofis/Bina Cephesi Ölçeğinde	Doğal Fenomenlere Dayalı Kinetik Cephe Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Dönme • Kıvrılma 	<ul style="list-style-type: none"> • İç mekana, kullanıcı faaliyetlerine uyumlu ve faydalı güneşli filtreleme 	
[2]	2022	Soğuk-Yarı kurak / Tahran	Ofis Mekânı/Oda Cephesi Ölçeğinde	Çok Fonksiyonlu Kinetik Cephe Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Dönme • Bükülme 	<ul style="list-style-type: none"> • Kullanışlı güneşli aydınlanması • Bağımsız güneşli kullanımı • Fazla güneşli kazancını önleme 	

[3]	2016	Çöl İklimi / Kahire	Ofis Mekanı/Oda Cephesi Ölçeğinde	Düzgün 6-gen Örüntülü Cephe Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Dönme • Ötelenme 	<ul style="list-style-type: none"> • Güneş ışığı ve enerji kazancı • Kullanışlı güneş ışığı aydınlanması sağlama 	
[4]	2021	Tropikal İklim / Vietnam	Ofis Mekanı/Oda Cephesi Ölçeğinde	Origami İlhamlı, 3-Gen Tessalasyonlu Gridal Cephe Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Dönme • Katlanma 	<ul style="list-style-type: none"> • İç mekan güneş ışığı kalitesini artırma • Leed 4.0 güneş ışığı performans kriterlerini karşılama 	
[5]	2020	Sıcak ve Kuru İklim / İran	Ofis Mekanı/Oda Cephesi Ölçeğinde	Orosi Geleneksel Pencere İlhamlı Renkli Cam Entegre Üçgenel Kinetik Cephe Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Dönme 	<ul style="list-style-type: none"> • Parlamayı azaltma • Aşırı ısınmayı önleme • Kullanıcı ve güneş pozisyonuna göre uyarlanabilme özelliği ile güneş ışığı filtreleme 	
[6]	2021	Sıcak ve Kuru İklim / İran	Ofis Mekanı/Oda Cephesi Ölçeğinde	Kullanıcı Etkileşimiyle Dinamik Geçişe Duyarlı, Stoma İlhamlı Izgaralı Cephe Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Dönme • Kayma 	<ul style="list-style-type: none"> • Parlamayı azaltma • Aşırı ısınmayı önleme • Kullanıcı ve güneş pozisyonuna göre uyarlanabilme özelliği ile güneş ışığı filtreleme 	
[7]	2016	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	Mikro İklimin Dinamik Değişikliklerine Göre Kendi Kendini Ayarlama Özelliğine Sahip Parametrik Adaptif Cephe Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Katlanma 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamik güneş ısı adaptasyonu • Güneş pozisyonuna göre uyarlanabilme özelliği ile güneş ışığı filtreleme 	
[8]	2023	Subtropikal Ve Kurak İklim / Abu Dhabi	Ofis Mekanı/Oda Cephesi Ölçeğinde	Morfoloji Konfigürasyonu Yoluyla Çevresel Koşulların Değişimine Uyum Sağlayabilen İklim Dirençli Bina Cephesi	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	<ul style="list-style-type: none"> • İç mekan güneş ışığı kalitesini artırma • İklim uyumlu tasarım • Tasarımında, uygulanacak farklı iklimlere ve cephe ölçeğine göre test ve optimizasyon imkanı sunan metodoloji barındırma 	
[9]	2023	Ilıman Okyanusal İklim / Brüksel	Ofis Mekanı / Bina Cephesi Ölçeğinde	Hexagonal Desenli, Rüzgar Enerjisine Bağlı Olarak Otomatik Mekanizmada Çalışan Kinetik Cephe Sistemi	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	<ul style="list-style-type: none"> • Enerji etkinliği ve CO2 emisyonunun azaltılması • Leed kriterlerine dayalı tasarım • PV panel ve rüzgar türbinleri aracılığıyla enerji üretimi 	
[10]	2022	Nemli Subtropikal İklim / Kitakyushu, Fukuoka, Japonya	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	Çok Amaçlı Optimizasyon Yoluyla Tasarlanmış Parametrik Genişletilmiş Metal Cephe Sistemi	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	<ul style="list-style-type: none"> • İç mekan güneş ışığı kalitesini artırma • Güneş ışığı koruması • Malzeme dolayısıyla atık yönetimine katkı bulunulması • Malzemenin perfore yapısıyla binanın havalandırılmasına katkı sağlaması 	

[1]: Sankaewthong, vd. 2022; [2]: Sadegh, vd. 2022.; [3]: Mahmoud, Elghazi, 2016; [4]: Thanh, vd. 2021; [5]: Hosseini, vd. 2020.; [6]: Hosseini, vd. 2021; [7]: Shen ve Lu, 2016; [8]: Figliola, 2023; [9]: Haghighat, Sadeh, 2023; [10]: Khidmat, vd. 2022

Belirlenen 10 kinetik ve statik parametrik cephe tasarım önerisinin 5'i biyolojik temelli tasarım yaklaşımının benimsendiği evrimsel tabanlı tasarım sistemi olarak genetik algoritmalar sistemi, diğer 5'i de dilsel temelli tasarım yaklaşımının benimsendiği kural tabanlı tasarım sistemi olarak biçim grameri tasarım sistemi kullanılarak modellenmiştir. Aşağıdaki maddelerde, seçilen 10 kinetik cephe tasarım önerisinin analiz tablosunda (Tablo 3) yer alan parametreler bağlamında analiz edilip değerlendirilmesiyle elde edilen bulgular yer almaktadır.

- Tüm tasarım önerilerinde, tasarımın içinde bulunduğu yerin günlük/aylık/yıllık iklimsel verileri Honeybee ve Ladybug gibi eklenti araçları kullanılarak veya farklı yollarla çıkartılmış olup günışığı performansı ve/veya enerji etkinliğine dayalı analizler yapılarak tasarım simülasyonları gerçekleştirilmiştir.
- Önerilen kinetik cephe sistemlerinin morfolojik tasarımları ve kinetik dönüşümlerindeki farklılıklar, cephenin uyarlanabilirlik özelliğinin çalışma mekanizmasında farklılık oluştursa da, bu sistemlerin işlevsel olarak benzer veya aynı fonksiyonlara sahip oldukları anlaşılmaktadır. Kinetik cephe modellerinin günışığı performansı ve enerji etkinliği tasarım kriterlerine yönelik; parlamayı azaltma, aşırı ısınmayı önleme, günışığı ve enerji kazancı, iç mekan günışığı kalitesini artırma, kullanışlı günışığı aydınlanması, kullanıcı ve güneş pozisyonuna göre günışığı filtreleme, enerji etkinliği, enerji üretimi ve CO₂ emisyonunun azaltılması gibi fonksiyonları, bu sistemleri oluşturan bileşenlerinin; dönme, katlanma, kayma, ötelenme, kıvrılma ve bükülme gibi kinetik dönüşümler geçirerek cephede uyarlanabilir özellik göstermesi ile gerçekleştiği ve bazı örneklerin ise (4 ve 9.) Leed (sürdürülebilirliğe dayalı sertifika sistemi) kriterlerine dayalı olarak test edildiği gözlemlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda kinetik cephe önerilerinin tasarım ve optimum konfigürasyonlara ulaşma sürecinde izlenen yöntem ve yaklaşımların farklılık gösterdiği ve izlenecek yöntemlere göre simülasyon ve eklenti araçlarının tercih edildiği anlaşılmıştır. Kinetik cephe tasarımlarının optimizasyon sürecinde üretilen model varyasyonlarının, aşağıdaki tablonun (Tablo 4) değerlendirme araçları sütununda yer alan yazılımlar aracılığıyla enerji etkinliği ve günışığı performansına bağlı simülasyonları yapılmış olup simülasyon analiz çıktılarının ortaya koyduğu Tablo 5'in bağımlı değerlendirme değişkenleri sütununda gösterilen parametrelerin optimum değerlerine göre Tablo 4'de gösterilen optimizasyon parametreleri konfigüre edilmiştir. KDND parametresinin, tüm kinetik cephe örneklerinin optimizasyon sürecinde ortak değerlendirme değişkeni olduğu gözlemlenmiştir. Bu değişken, modelde meydana gelen kinetik dönüşümdeki (dönme, kıvrılma, ötelenme, bükülme, kayma, katlanma) değiştirilebilir sayısal değerleri ifade etmektedir. Statik örneklerde ise, cephenin morfolojik tasarımının (biçim-geometri) (8. örnek), morfolojisini belirleyen sayısal parametrelerin (8 ve 10. örnek) veya malzeme özelliklerini tanımlayan parametrelerin (8. örnek) değiştirilmesiyle optimizasyon sürecinin yürütüldüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Kinetik ve Statik Parametrik Cephe Tasarım Önerilerinin Tasarım ve Optimizasyon Süreci Açısından Analizi

Ref	Yıl	Tasarım Araçları	Tasarım Yaklaşımı	Üretken Tasarım Sistemi ve Alt Sistemi	Değerlendirme Sistemi		Değerlendirme Kriterleri	
					Değerlendirme Araçları	Optimizasyon Değişkenleri	Enerji Etkinliği	Günışığı Performansı
[1]	2022	R, GR	BTTY	ETTS, GA	CS, W	CB, CT, KD, KDND	-	+
[2]	2022	R, GR	BTTY	ETTS, GA	W	MT, MTND, KD, KDND	-	+
[3]	2016	R, GR	DTTY	KTTS, BG	D	KD, KDND	-	+
[4]	2021	R, GR	DTTY	KTTS, BG	AS-EP, D	CY, MT, KDND	+	+
[5]	2020	R, GR	DTTY	KTTS, BG	D	KDND, CT	-	+
[6]	2021	R, GR	BTTY	ETTS, GA	D	MTND, CY, KD, KDND	-	+
[7]	2016	RE, DY	DTTY	KTTS, BG	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	KDND	-	+
[8]	2023	R, GR	BTTY	ETTS, GA	EP, OS, DA, LB, HB	MT, MTND, CMÖ	+	+
[9]	2023	R, RE, GR, DY	DTTY	KTTS, BG	AI	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	+	+
[10]	2022	R, GR	BTTY	ETTS, GA	RA, LB, HB	MTND	-	+

R: Rhino; **RE:** Revit **GR:** Grasshopper; **DY:** Dynamo; **CS:** Climate Studio; **RA:** Radiance; **LB:** Ladybug; **HB:** Honeybee; **W:** Wallacei; **D:** Diva; **DA:** Daysim; **AI:** Autodesk Insight; **AS-EP:** Archsim (Plug-in) - EnergyPlus; **OS:** OpenStudio; **BG:** Biçim Gramerleri; **GA:** Genetik Algoritmalar; **BTTY:** Biyolojik Temelli Tasarım Yaklaşımı; **DTTY:** Dilsel Temelli Tasarım Yaklaşımı; **ETTS:** Evrimsel Tabanlı Tasarım Sistemi; **KTTS:** Kural Tabanlı Tasarım Sistemi; **CB:** Cephe Boyutları; **CT:** Cephe Tipolojileri; **CY:** Cephe Yönlenmesi; **CMÖ:** Cephe Malzeme Özellikleri; **KD:** Kinetik Dönüşümler; **KDND:** Kinetik Dönüşümün Niceliksel Değişiklikleri; **MT:** Morfolojik Tasarım; **MTND:** Morfolojik Tasarımın Niceliksel Değişiklikleri

[1]: Sankaewthong, vd. 2022; [2]: Sadegh, vd. 2022.; [3]: Mahmoud, Elghazi, 2016.; [4]: Thanh, vd. 2021; [5]: Hosseini, 2020.; [6]: Hosseini, vd. 2021; [7]: Shen ve Lu, 2016; [8]: Figliola, 2023; [9]: Haghghat, Sadeh, 2023; [10]: Khidmat, vd. 2022

Tablo 5. Kinetik ve Statik Parametrik Cephe Tasarım Önerilerinin Tasarım ve Optimizasyon Süreci Açısından Analizi

Ref.	Yıl	Bağımsız Değerlendirme Değişkenleri	Bağımlı Değerlendirme Değişkenleri	Tasarım Optimizasyonu
[1]	2022	<ul style="list-style-type: none"> • Mekan Ölçüleri: • Cephe Uzunluğu • Cephe Tipleri: • Sadece Cam Panel • Statik Cephe • Kinetik Cephe 1 (Dönme) • Kinetik Cephe 2 (Kıvrılma) 	<ul style="list-style-type: none"> • Güneşli Faktörü [GF/DF] • Yıllık Güneşli Maruz Kalma [YGMK/ASE] • Mekansal Gün Işığı Özerkliği [GÖ/sDA] 	Kinetik cephe tasarımının farklı tipolojileri ve kinetik dönüşüm konfigürasyonlarıyla elde edilen varyasyonlarının, mekana alınan ışık yoğunluğu ve LEED 4.1 kriterlerine göre değerlendirilmesi için gerçek zamanlı simülasyon testleri gerçekleştirilmiş ve analiz çıktılarından hareketle optimum güneşli performansını sağlayan sistem konfigürasyonları bulunmuştur.
[2]	2022	<ul style="list-style-type: none"> • Cephe Tipleri: • Kinetik Cephe 1 (Dönme) • Kinetik Cephe 2 (Distorsiyon) • Cephe Morfolojileri: • Üçgenel Örgü Aksı 1 • Üçgenel Örgü Aksı 2 • Üçgenel Örgü Aksı 3 	<ul style="list-style-type: none"> • Yararlı Güneşli Aydınlanması [YGA/UDI] • Güneşli Özerkliği [GÖ/sDA] 	Önerilen çok amaçlı evrimsel algoritmalar (ÇAEA) çerçeve metoduyla, yüksek performanslı tasarım elde etmede karar verme süreci desteklenmiş ve kinetik cephe sistemi optimize edilmiştir. Değerlendirme ve optimizasyon sürecinde, güneşli performansı için kinetik dönüşümler ve cephe morfolojilerinin optimum konfigürasyonları bulunmuştur
[3]	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Cephe Tipleri: • Kinetik Cephe 1 (Dönme) • Kinetik Cephe 2 (Ötelenme) 	<ul style="list-style-type: none"> • Değişken Zaman Faktörüne Göre Güneşli Alan Yüzdeleri [GYA] • Değişken Zaman Faktörüne Göre Aydınlanma Seviyeleri [AS] 	Altıgen örüntülü parametrik cephe modeli üzerinde dönme ve öteleme kinetik hareket konfigürasyonları üretilip farklı güneşli simülasyonları gerçekleştirilerek, erken tasarım sürecinde güneşli performansı optimum düzeyde olan cephe varyasyonları bulunmuştur.
[4]	2021	<ul style="list-style-type: none"> • Cephe Morfolojileri: • "Cupra Duvarı" benzeri panel düzenine sahip üçgenel örgü • "Dağ" ve "Vadi" katlama tekniği kullanılan, şemsiye benzeri katlanma mekanizmasına sahip üçgenel örgü • Cephe Yönlendirmeleri: • 8 farklı yönlenme durumu 	<ul style="list-style-type: none"> • Leed 4.0 değerlendirme kriterleri • Güneşli Özerkliği [GÖ/sDA] • Yıllık Güneşli Maruz Kalma [YGMK/ASE] 	Erken tasarım aşamasında kullanılan algoritmik paket ve eklenti yazılımı ile optimal tasarım çözümünü bulmada optimizasyon süreci desteklenmiştir. Bu süreçte, cephenin 8 farklı yönlendirmesinin iki farklı cephe morfolojisiyle ve kinetik dönüşümlerin farklı nicel değerleriyle oluşturduğu farklı tasarım kombinasyonları karşılaştırılarak; GÖ, YGMK değişkenleri ve Leed 4.0 kriterlerinin değişkenleri için optimum değerleri sağlayan tasarım çözümlerine ulaşılmıştır.
[5]	2020	<ul style="list-style-type: none"> • Cephe Tipleri: • Kırmızı, mavi, yeşil, sarı ve renksiz tipte cam cepheler • Orosi renklerini barındıran tipte cam cepheler • Kullanıcı ve Güneş Pozisyonu 	<ul style="list-style-type: none"> • Yararlı Güneşli Aydınlanması [YGA/UDI] • Güneşli Özerkliği [GÖ/sDA] • Güneşli Parlama Olasılığı [GPO/DGP] • Aşılışlı Faydalı Güneşli Aydınlanma [AFGA/EUDI] 	Orosi renkli cam entegre edilmiş interaktif kinetik cephe tasarımının modüllerinde parametrik ve hiyerarşik dönme hareketi gerçekleştiren kinetik dönüşümün farklı konfigürasyonlarıyla, kullanıcı ve güneş pozisyonu parametrelerine bağlı olarak optimum güneşli performansı gösteren tasarım çözümleri bulunmuştur.
[6]	2021	<ul style="list-style-type: none"> • Cephe Tipleri: • Kinetik Cephe 1 (Dönme) • Kinetik Cephe 2 (Kayma) • Cephe Morfolojileri: • 4x1 grid bölünmesi • 8x1 grid bölünmesi • 12x1 grid bölünmesi • Cephe Yönlendirmeleri: • 3 farklı yönlenme durumu • Kullanıcı ve Güneş Pozisyonu 	<ul style="list-style-type: none"> • Mekânsal Gün Işığı Özerkliği [GÖ/sDA] • Güneşli Parlama Olasılığı [GPO/DGP] • Yararlı Güneşli Aydınlanması [YGA/UDI] • Aşılışlı Faydalı Güneşli Aydınlanma [AFGA/EUDI] 	Tasarımında bitkilerdeki stoma yapısından ilham alınan ızgaralı kinetik cephe modelinin; dönme ve kayma kinetik dönüşümleri, morfolojiyi oluşturan grid bölünmesi ve cephe yönlendirmesinin farklı konfigürasyonlarıyla, kullanıcı ve güneş pozisyonu parametrelerine bağlı olarak optimum güneşli performansı gösteren tasarım çözümleri bulunmuştur.
[7]	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Güneş Pozisyonu 	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	Dynamo ve Arduino yazılımları aracılığıyla, üretilen fiziksel model ve revit modeli arasında etkileşimli bir iş akışı oluşturulmuş ve güneşli parametresine bağlı olarak kinetik cephe bileşenlerinde optimum açılma dereceleri otomatik ve hiyerarşik bir kontrol sisteminde ayarlanmıştır.

[8]	2023	<ul style="list-style-type: none"> • Cephe Malzeme Özellikleri: • Yalıtım Kalınlığı (0.2-0.3 cm) • Pencere U değeri • Isı Kazancı Katsayısı (0.9-0.4) • Görünür Geçirgenlik • Cephe Morfolojileri: • Geometri A (0.4-1 m) • Geometri B (0.4-1 m) • Geometri C (0.4-1 m) 	<ul style="list-style-type: none"> • Güneşli Faktörü [GF/DF] • Yıllık Güneşliğine Maruz Kalma [YGMK/ASE] • Mekansal Gün Işığı Özerkliği [GÖ/sDA] • Solar Radyasyon [SR] • Enerji Analizi-Isıtma / Soğutma (Kwh/m²a) • Görüş Kalitesi [GK] 	İki fazda gerçekleşen performansa dayalı tasarım ve optimizasyon sürecinde; ilk olarak farklı geometrik konfigürasyonlardaki tasarım varyasyonlarının değişen parametrelere göre analizi gerçekleştirilmiş olup sonraki aşamada Opossum aracı kullanılarak genetik optimizasyon yoluyla tüm yıl boyunca hesaplanan soğutma yükleri optimize edilmiştir. Bu optimizasyon işleminde, aynı morfolojik konfigürasyondaki ancak cephe malzeme özellikleri değişkeninin farklı değerlerine göre üretilen farklı tasarım varyasyonlarının karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.
[9]	2023	Bu Bilgiye Ulaşılamamıştır	<ul style="list-style-type: none"> • Leed değerlendirme kriterleri (Enerji verimliliği kriterleri dahil) • Solar Radyasyon [SR] • Rüzgar Basıncı [RB] • Güneşliğine Maruz Kalma [GMK] 	Cephe sisteminin önerildiği kule yapısının tepesine yerleştirilen rüzgar türbinleri ve gün boyunca güneş radyasyonundan yararlanmayı sağlayan cepheye entegre edilmiş fotovoltaik panel sistemi, çeşitli sensörleri barındıran merkezi bir kontrol sistemi ile yönetilmekte olup bu sistemlerin, bina performansını optimize etmek için BIM araçları aracılığıyla analizleri gerçekleştirilmiştir. Ortaya konan nihai tasarımın sonrasında alınan tasarım kararlarının geçerliliğine ilişkin tespitler yapabilmek amacıyla LEED sertifikası kullanılarak bir değerlendirme yapılmıştır.
[10]	2022	<ul style="list-style-type: none"> • Cephe Morfolojileri: • Yükseklik / SW (5-20 cm) • Uzunluk / LW (1-5 cm) • Kenar / W (1-10 cm) • Birleşim (3-10 cm) • Açılı (1-9 derece) 	<ul style="list-style-type: none"> • Yararlı Güneşli Aydınlanma [YGA/UDI] (Leed 4.1 kriteri: UDI100-2000lx) • Güneşli Özerkliği [GÖ/sDA] (Leed 4.1 kriteri: sDA300/50%) • Yıllık Güneşliğine Maruz Kalma [YGMK/ASE] (Leed 4.1 kriteri: ASE1000,250) • Güneşli Parlama Olasılığı [GPO/DGP] • Görüş Kalitesi [GK] 	Erken tasarım aşamasında, çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı ve simülasyon araçları kullanılarak Leed 4.1 güneşli performans kriterlerinin optimum değer aralığını sağlayan ve cephenin farklı parametrik morfoloji konfigürasyonlarına dayanan tasarım modellerine ulaşılmıştır. Analizlere dayalı optimizasyon süreci sonunda Kenar (W) ve Yükseklik (SW) parametrelerinin güneşli performansında en etkili olduğu anlaşılmıştır.

[1]: Sankaewthong, vd. 2022; [2]: Sadegh, vd. 2022.; [3]: Mahmoud, Elghazi, 2016.; [4]: Thanh, vd. 2021; [5]: Hosseini, vd. 2020.; [6]: Hosseini, vd. 2021; ; [7]: Shen ve Lu, 2016; [8]: Figliola, 2023; [9]: Haghghat, Sadeh, 2023; [10]: Khidmat, vd. 2022

Kinetik ve statik parametrik cephe tasarımları incelendiğinde, tasarım ve optimizasyon süreciyle alakalı 10 çalışmayı da kapsayan ortak parametreler belirlenmiştir. Bazı örneklerde (7-10.) bazı parametrelere (İklim/Konum; Uygulanan Mekan Tipolojisi/Ölçeği; Kinetik Dönüşümler; Değerlendirme Araçları; Optimizasyon Değişkenleri; Bağımlı-Bağımsız Değerlendirme Değişkenleri) ilişkin bilgiye ulaşılamamıştır. Belirlenen parametreler bağlamında kinetik ve statik parametrik cephe tasarım önerileri, tasarım ve optimizasyon süreci açısından analiz edilmiş olup yukarıdaki iki tabloya göre (Tablo 4 ve Tablo 5) değerlendirmesi ve değerlendirme sonucu elde edilen bulgular şu şekildedir:

- Kinetik ve statik parametrik cephe tasarımlarının güneşli performansı ve enerji etkinliği tasarım kriterlerine dayalı bağımlı değerlendirme değişkenlerinin yukarıdaki tabloda (Tablo 5) gösterilen; GÖ (sDA), GPO (DGP), AFGA (EUDI), YGA (UDI), YGMK (ASE), GF (DF), GYA, AS, GK, SR, RB, GMK ve Leed 4.0-4.1 değerlendirme kriterleri olduğu gözlemlenmiştir. Değişkenlerin, yapılan simülasyonlar ve analizler sonucu hesaplanan değerlerinde optimum seviyeye ulaşmak için, kinetik cephe modelinin yukarıdaki tabloda (Tablo-5) gösterilen bağımsız değerlendirme parametreleri konfigüre edilmiştir. Cephe tipleri, [1], [2], [3], [5] ve [6] numaralı tasarımlarda; cephe morfolojileri, [2], [4], [6], [8] ve [10] numaralı tasarımlarda; cephe yönelmeleri, [4] ve [6] numaralı tasarımlarda; kullanıcı ve güneş pozisyonu, [5] ve [6] numaralı tasarımlarda; mekan ölçüleri, [1] numaralı tasarımda ve cephe malzeme özellikleri ise [8] numaralı tasarımda değişkenleri konfigüre edilen parametrelerdir. Parametrelerin içerdiği konfigüre edilen alt tasarım parametreleri ve detayları, tabloda (Tablo 5) maddeler halinde gösterilmiştir.
- Kinetik cephe tasarımları arasından [5], [6] ve [7] numaralı olanlarda; tasarım optimizasyonu için güneş ve/veya kullanıcı pozisyonu parametresinin, diğer parametrelerle birlikte bağımsız değerlendirme parametreleri olduğu görülmüştür. Bu iki tasarımda kullanılan DIVA programının güneşli simülasyonları sonucunda analiz çıktıları oluşturulmuştur. Analiz çıktılarında gösterilen ve günün farklı saatlerindeki güneş ve kişi pozisyonları bağımsız değerlendirme parametrelerinin meydana getirdiği farklı senaryolara bağlı olarak değerleri değişen YGA, GPO, AFGA ve GÖ bağımlı değerlendirme değişkenleri bağlamında güneş kırıcı modüllerin kinetik dönüşümlerinde optimum konfigürasyonlar yapılmıştır.
- Kinetik ve statik parametrik cephe tasarımı ve optimizasyonu için kullanılan modelleme ve simülasyon yazılımlarının dışında, bu yazılımlar arasında bir arayüz işlevi görüp bağlantı sağlayan algoritmik paket ve

eklenti araçlarının da, güneşiği ve enerji etkinliğinin kriter olarak belirlendiği optimizasyon sürecinde önemli rol oynadığı anlaşılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen tasarımlar tabloda görüldüğü gibi (Tablo 4), parametrik modelleme ve tasarım aracı olarak Rhino Grasshopper ve Revit/Dynamo yazılımlarının kullanıldığı örneklerdir. Analiz sonucunda Optimizasyon sürecinde kullanılan farklı tasarım yaklaşımlarına ve araçlarına ilişkin bazı bulgular elde edilmiştir. Bunlar; [4] numaralı tasarım önerisinin optimizasyon sürecinde kullanılan Kompozit Hareket Optimizasyonu Dengeleme (BCMO) algoritmasının, güneşiği performansına yönelik optimal tasarıma ulaşmada etkili bir yöntem sunması, [7] numaralı örnekteki cephe tasarımı, üretilen sanal ve fiziksel model arasında Dynamo ve Arduino yazılımları aracılığıyla kurulan etkileşimli ve entegre iş akış mekanizmasında gerçek zamanlı ve simüle edilmiş güneşiği parametreleri bağlamında optimize edilmesi, [2] ve [10] numaralı örneklerde, çok amaçlı optimizasyon (MOO) yaklaşımı kullanılarak genetik algoritmalara dayalı optimizasyon gerçekleştirilerek optimal tasarım çözümlerine ulaşılması ve [8] numaralı örnekte Opossum eklenti aracı kullanılarak hızlı hesaplamalı, verimli ve aynı anda birçok hedefin aranmasına olanak tanıyan bir mekanizmada optimizasyon sürecinin yürütülmesi olarak sıralanmaktadır.

- Kinetik ve statik parametrik cephe tasarımlarında, biçim grameri ve genetik algoritmalar tasarım sistemlerinin gerektirdiği teknik ve stratejiler kullanılarak güneşiği performansına bağlı kullanıcı konfor seviyesini arttırmak ve sadece [4] ve [10] numaralı örneklerde olmak üzere, Leed 4.0 ve 4.1 kriterlerinin değerlerini optimum düzeyde karşılayan tasarım çözümlerine ulaşmak hedeflenmiştir. Ayrıca bu hedefler doğrultusunda tasarlanacak olan kinetik cephenin tasarım ve optimizasyon sürecine [1] numaralı örnekte, dijital fabrikasyon ile yapım prosedürü de eklenmiştir. Bu prosedürde, tasarım modelinin prototipi üretilerek modelin gerçek ortamda güneşiği performans testleri gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sürecinde sanal modelin yanında fiziksel modelin de kullanıldığı diğer tasarımlar ise [7] ve [10] numaralı örneklerdir. Optimizasyon sürecinde fiziksel model veya prototip kullanılmasının performansa dayalı optimum cephe tasarımında oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin [1] numaralı örnekte, simülasyon sonrasında ortaya konmuş tasarım varyasyonlarında belirlenen malzemelerin ve kinetik performansının gerçek koşullardaki durumunun test ve doğrulama işlemi gerçekleştirilerek; [7] numaralı örnekte, hem anlık mikro iklim değişikliklerini hem de mevsimin kalıcı kısıtlamalarını karşılayabilen tasarım varyasyonları bulunarak; [10] numaralı örnekte ise yerinde ölçüm yoluyla parametrik cephenin performans deneyi yapılarak optimizasyon süreci desteklenmiştir.
- Analizi yapılan kinetik cephe tasarımlarında ortak temel hedef olan cephede güneşiği performansını arttırarak kullanıcılar için konforlu bir iç ortam yaratmak, tasarımların her birinde benimsenen farklı yaklaşım ve stratejilerle sağlanmıştır. Genetik algoritma üretken tasarım sistemi kullanılarak ortaya konan modellerden [1] numaralı örnekte, morfolojik tasarımında DNA yapısından ilham alınan kinetik cepheyi oluşturan hareketli panellerin dönme ve kıvrılma; [2] numaralı örnekte, üçgensel grid örgüsü oluşturan güneş kırıcı panellerin dönme ve bükülme; [6] numaralı örnekte, bitkilerin stoma yapısından ilham alınarak tasarlanan ızgara düzenindeki kinetik cephe panellerin dönme ve kayma; biçim grameri üretimsel tasarım sistemi kullanılarak üretilen modellerden [3] numaralı örnekte, altıgen tessalasyonlu cephe panellerinin dönme ve ötelenme; [4] numaralı örnekte, üçgen tessalasyonlu gridal örüntüyü oluşturan origami tabanlı modüllerdeki panellerin, dönme ve katlanma; [5] numaralı örnekte, renkli orosi cam panellerin entegre edildiği üçgen örüntülü bileşenlerin dönme ve [7] numaralı örnekte ise üçgen bileşenlerin katlanma hareketi gerçekleştirilmesiyle cephede kontrollü ve verimli güneşiği geçirgenliğinin sağlandığı anlaşılmaktadır. [8] ve [10] numaralı örneklerdeki optimizasyon süreci, bu örneklerin statik parametrik cephe sistemleri olmaları sebebiyle kinetik dönüşüm parametreleri yerine cephe morfolojisindeki dinamik konfigürasyonlarla gerçekleşmektedir. [9] numaralı örnekte ise, kinetik cephe tasarımı ortaya konmuş olduğu görülmüş ancak cephe modüllerindeki kinetik dönüşüm mekanizmasına dair bilgiye ulaşılamamıştır.
- Performansa dayalı cephe tasarımında değerlendirme kriteri olarak güneşiği performansının barındırdıkları tasarım ve optimizasyon süreciyle tüm örneklerde, enerji etkinliği kriterinin ise yalnızca [4], [8] ve [9] numaralı örneklerde karşılandığı gözlemlenmiştir. [4] ve [9] numaralı örneklerdeki tasarımların Leed 4 ve 4.1 enerji etkinliği kriterlerine göre değerlendirmesi yapılmış olup Autodesk Insight aracılığıyla enerji analizi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. [8] numaralı örnekteki enerji etkinliği analiz ve simülasyon sürecinde ise, Energyplus ve Openstudio araçlarının, Ladybug ve Honeybee eklenti araçları ile beraber kullanıldığı görülmüştür.
- Kinetik cephelerin tasarım ve optimizasyon sürecinde statik parametrik cephelerden farklı olarak morfolojik tasarımın yanında kinetik dönüşüm parametresine bağlı olarak da farklı tasarım konfigürasyonlarının üretilebildiği ve bu yönden statik cephelere göre daha fazla çeşitlilikte ve esneklikte performansa dayalı tasarım çözümlerinin ortaya konduğu gözlemlenmiştir. Ancak kinetik cephe tasarımındaki form bulma aşamasında, kinetik mekanizmalarının yarattığı sınırlamalardan dolayı morfolojik (biçimsel) tasarım ve optimizasyonda zorluklar ortaya çıkmaktadır.

6. SONUÇLAR

Kinetik cephe sistemlerinin; iklimsel koşullara ve kullanıcı taleplerine, bileşenlerinde meydana getirdiği geri dönüşümlü dinamik etki ile gerçek zamanlı tepki vererek kullanıcıların günışığına bağlı konfor seviyesini arttırması olarak tanımlanan uyarlanabilme özelliği ve günışığını verimli kullanıp binanın enerji korunumuna katkısı gibi avantajlarından dolayı cephede güneş kırıcı bir kabuk olarak efektif bir alternatif sunduğu ve gelecekteki cephe tasarımları için de geliştirilebilir potansiyeller taşıdığı, yapılan araştırmalar ve örnek analizleri sonucunda anlaşılmıştır. Mekanik, elektronik donanımları veya akıllı malzemeleri barındıran bu sistemlerin otomasyona, kullanıcı etkileşimine veya her ikisine birden dayanan kontrol stratejileri, dışsal (mekanik-elektronik aktüatör bulunduran akıllı sistemler) veya içsel (akıllı malzemeler) kontrol sistemlerinin yönetim ve işletim mekanizmasını belirlemekte olup bu kontrol mekanizması ve barındırdığı diğer teknolojik donanımlar sayesinde kinetik cephe sistemi, iç ve dış çevre koşullarıyla etkileşime girip uyarlanabilirlik fonksiyonlarını gerçekleştirebilmektedir. Bu uyarlanabilirlik fonksiyonları çalışma kapsamında belirlenmiş olan, enerji etkinliği ve günışığı performansı olarak temelde ikiye ayrılan sürdürülebilir tasarım kriterlerine dayanmaktadır. Yapılan literatür taramalarından ve örnek analizlerinden elde edilen bulgulara göre bu fonksiyonları; kullanıcı-güneş pozisyonuna uyum göstererek günışığını filtreleme, fazla günışığı kazancını engelleme, günışığı enerjisini depolama, elektrik enerjisi üretme, günışığını yönlendirip dengeleyerek faydalı aydınlatma oluşturma, kamaşmayı önleme ve bağımsız günışığı kullanımını sağlama olarak özetlemek mümkündür.

Konu ile ilgili yapılan literatür taramaları ve örnek analizleri sonucu kinetik cephe tasarım sürecinin; parametrik ve algoritmik tabanlı modelleme, simülasyon ve analiz gibi işlemlere sahip yazılımların birbiriyle entegre ve senkronize bir ilişkide çalışan sisteminin oluşturduğu birbirine bağlı farklı prosedürlere sahip ve bu prosedürlerin hangi aşamasında bulunduğu fark etmeksizin geri aşamalara dönülerek, tasarımcı kontrolünde model üzerinde yapılan gerekli konfigürasyonlarla tasarım optimizasyonlarının gerçekleşebildiği esnek bir süreç olduğu sonucuna varılmıştır. Bulgular ve tartışma bölümünde; Rhino/Grasshopper ve Revit/Dynamo tasarım araçları kullanılarak üretilen kinetik ve statik parametrik cephe tasarım örneklerinin, performans dayalı tasarımı ve tasarım süreci, ortak belirlenmiş parametreler bağlamında analiz edilmiş olup analiz sonucunda elde edilen bulgular üzerinden bu örnekler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu bulgulardan hareketle ortaya konan tespit ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Kinetik cepheler daha iyi enerji ve günışığı performansı gösteren çözümler olabilmekte ancak bakımının zor ve maliyetli teknolojiler olması sebebiyle bu sistemlerin maliyet ve geliştirme açısından fizibilite ve uygulama/yapım süreci önem kazanmaktadır.
- BIM ortamındaki tasarım sürecinin, bu süreci oluşturan tasarım prosedürleri arasında geçişin yapılabilmesi ve prosedürlerde kullanılan araçların birbiriyle senkronize ve uyumlu ilişkisi sayesinde tasarımcılara; esnek, zaman ve maliyetten tasarruf sağlayan ve optimum tasarımların ortaya çıkmasına olanak tanıyan verimli bir tasarım ortamı sağladığı anlaşılmıştır.
- Kinetik cephe tasarım sürecinde kullanılan biçim/şekil grameri tasarım sistemlerinin; kinetik model tasarımında geleneksel motiflerin uyarlanabilmesi, kinetik dönüşümünde origami katlama tekniklerinin kullanılmasıyla yaratıcı çözümlerin sağlanması, deneme-yanılma yoluyla optimum tasarıma kısa sürede ulaştırarak değerlendirme mekanizmasına sahip olması, genetik algoritmalar tasarım sisteminin ise; optimum tasarım alternatifi için kısa sürede ve öngörülemeyen çeşitlilikte varyasyon üreterek tasarımcıya daha fazla keşif ve değerlendirme imkanı tanınması, karmaşık yüzey ve geometrilerin oluşturulabilmesi ve doğadan ilham aldığı üretim biçiminin dijital ortamda algoritmik ve parametrik bir model üretme sistemi ile kullanışlı bir optimum tasarım türetme yöntemi sağlaması gibi tasarım sürecini verimli hale getiren ve kinetik cephe modeli üretimini kolaylaştıran özellik ve fonksiyonlarının olduğu tespit edilmiştir.
- Kinetik cepheler, mekana alınan günışığını ayarlayıp dengeleyerek kullanıcıların görsel ve termal konforunu arttırmanın yanında HVAC sistemlerinin kullanımının azaltılmasına sebep olarak binanın işletimi sürecindeki enerji verimliliğini de sağlamaktadır.
- Kinetik cephe sistemlerinin farklı dönüşüm tipleri vardır. Bunlar: Dönme, kıvrılma, bükülme, ötelenme, katlanma ve kayma dönüşüm tipidir. Cephede bu dönüşümlerin gerçekleşmesiyle günışığı performansı ve/veya enerji etkinliği sağlanmaktadır.
- İklimsel koşulların, biçim/şekil grameri veya genetik algoritmalar kinetik cephe tasarım sistemlerinden hangisinin kullanılacağına etkili olmadığı tespit edilmiştir. Aynı iklim koşuluna sahip projelerde, farklı kinetik cephe tasarım sistemi kullanıldığı görülmüştür. Bazı örneklerde görüldüğü gibi ([4] ve [5] numaralı örnekler), kültürel değerler ve geleneksel mimari elemanlar veya teknikler kinetik cephe sistemlerine modelin tasarım tekniği, malzemesi veya oluşturulma biçimi olarak uyarlanabilmektedir.

- Kinetik cephe tasarımlarının optimizasyon sürecinde kullanılan değerlendirme araçlarının analiz bölümündeki cephenin performans ölçütlerini oluşturan belirli bağımlı değerlendirme değişkenleri vardır. Bu değişkenlerin optimum değerlerinin sağlanması ile günışığı performansının artırıldığı ve cephenin enerji etkin tasarımına olumlu katkı sağlandığı gözlemlenmiştir.
- Tasarım optimizasyonu için konfigürasyonu yapılacak bağımsız değerlendirme değişkenlerinin: mekan ölçüleri, cephe tipleri, cephe morfolojileri, cephe yönlendirmeleri, kullanıcı/güneş pozisyonu ve cephe malzeme özellikleri parametrelerinin olduğu tespit edilmiştir. Cephe morfolojileri parametresindeki optimizasyon değişkenleri, morfolojinin niceliksel değerleri veya morfolojik (biçimsel) tasarımı olurken cephe tipleri parametresi içerisindeki kinetik dönüşüm alt parametresinde ise, kinetik dönüşümün tipleri ve niceliksel değerleri olduğu gözlemlenmiştir. Kinetik cephe tasarımındaki optimizasyonun, bu parametrelerdeki değişken değerlerinin ayarlanması ile bağımlı değerlendirme değişkenlerinde optimum değerleri sağlayan konfigürasyonların yapılması şeklinde sağlandığı anlaşılmıştır.
- Örnek analizi için farklı veri tabanları üzerinden yapılan kapsamlı araştırma sonucunda, bu konudaki literatürde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğunun tasarım aracı olarak Rhino/Grasshopper araçlarının kullanıldığı örneklerden oluştuğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda literatürde Revit/Dynamo yazılımına dayalı kinetik cephe tasarımına ilişkin boşluk olduğu ve bu yönde daha fazla çalışmanın yapılması gerektiği; ayrıca örnekler arasında yer alan kinetik cephe tasarım yaklaşımı olarak dilsel temelli sistemlerin, biyolojik süreçlerin gerçekleştiği evrimsel temelli sistemlere göre oldukça fazla olduğu da gözlemlenmiş olup evrimsel temelli tasarım yaklaşımı ve bu yaklaşıma dayalı genetik algoritmalar üretken tasarım sistemlerinin de geliştirilmesi gereken bir alan olduğu ve bu yönde çalışmalar yapılması gerektiği önerilmektedir.

Uyarlanabilir bir sistem olan kinetik cephelerin barındırdığı avantajlarla, özellikle ofis mekanlarındaki şeffaf cephelere entegre edilebilecek efektif bir güneş kırıcı kabuk alternatifi olduğu ortadadır. Bu cephelerin katmanlarını oluşturan kontrol sistemleri, bu sistemlerde geliştirilen stratejiler, malzemelerinin ve diğer teknolojik donanımlarının tipleri, özellikleri ve fonksiyonları; kullanıcı/işveren/müşteri talepleri, çevresel faktörler ve tasarımcının sınırlamaları ile talepleri doğrultusunda belirlenmektedir. Kinetik cephelerin günışığı performansı ve enerji etkinliği tasarım kriterlerine bağlı uyarlanabilirlik fonksiyonunu optimum düzeyde gerçekleştirilmesi, prosedürleri eksiksiz ve doğru ilişkilerde kurgulanmış, tasarım süreci ve bu süreçte yeterli optimizasyonu yapılarak ve gerekli tasarım, modelleme ve değerlendirme araçlarının doğru kullanımı sağlanarak üretilmiş optimum tasarım modeli ile mümkün olmaktadır. Kinetik cephelerin tasarımında benimsenecek olan biçim/şekil grameri ve genetik algoritmalar sistemlerinin gerektirdiği araçlar, tasarım teknik ve yöntemlerinin ortaya konulacak olan tasarım için hedeflenen kriterlere bağlı olarak kombine edilip çeşitlendiği görülmüştür. Bu kullanılan yöntem, teknik ve araçların geliştirilmesiyle, kinetik cephe sistemlerinin tasarımdan kullanım sürecine kadar ortaya çıkabilecek problemlerin çözümünde yeni potansiyellerin keşfedilebileceği öngörülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazar-1: Fikir, Orijinal Taslak Oluşturma, Yazım, Revize, Metot Oluşturma, Deneysel Çalışma, Verilerin Düzenlenmesi, Sonuç ve Tartışma

Yazar-2: Revize, Metot Oluşturma, Sonuç ve Tartışma

KAYNAKLAR

- Akipek, F. Ö., & İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları. *Megaron Yıldız Teknik Üniversitesi E-Dergisi*, 2(4), 237-253.
- Albag, O., Anishchenko, M., Grassi, G., & Paoletti, I. (2020). Adaptive skins: towards new material systems. *Digital transformation of the design, construction and management processes of the built environment*, 209-219.
- Alkhatib, H., Lemarchand, P., Norton, B., & O'Sullivan, D. T. J. (2021) Deployment and control of adaptive building facades for energy generation, thermal insulation, ventilation and daylighting: A review. *Applied Thermal Engineering*, 185, 116331. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116331>
- Alkhayyat, J. (2013). *Design strategy for adaptive kinetic patterns: creating a generative design for dynamic solar shading systems*. (M.a. Thesis. Manchester: University of Salford School Of Build Environment MSc Digital Architectural Design). Manchester, England,

https://www.academia.edu/6978438/Design_strategy_for_adaptive_kinetic_patterns_creating_a_generative_design_for_dynamic_solar_shading_system

- Alotaibi, F. (2015). The role of kinetic envelopes to improve energy performance in buildings. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 4(3), 149-153. DOI:10.4172/2168-9717.1000149
- Arida, S. (2004). *Contextualizing generative design*. (Doctoral dissertation. Massachusetts Institute of Technology). Cambridge, US, <https://core.ac.uk/download/pdf/4385734.pdf>
- Barozzi, M., Lienhard, J., Zanelli, A., & Monticelli, C. (2016). The sustainability of adaptive envelopes: developments of kinetic architecture. *Procedia Engineering*, 155, 275-284
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.029>
- Davis, D., Burry, J., & Burry, M. (2011, July). Untangling parametric schemata: enhancing collaboration through modular programming. *Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design*, University of Liege, Liege, 55-68.
https://www.researchgate.net/publication/228843549_Untangling_Parametric_Schemata_Enhancing_Collaboration_through_Modular_Programming
- Elkhayat, Y. O. (2014). Interactive movement in kinetic architecture. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 42(3), 816-845. DOI:10.21608/jesaun.2014.115027
- Elmokadem, A., Ekram, M., Waseef, A., & Nashaat, B. (2018). Kinetic architecture: concepts, history and applications. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7(4): 750-758.
DOI:10.21275/ART20181560
- Figliola, A. (2023). Digital workflow for climate resilient building façade generation. *Building Research & Information*, 51(3), 257-278. <https://doi.org/10.1080/09613218.2022.2121907>
- Formentini, M., & Lenci, S. (2018). An innovative building envelope (kinetic façade) with Shape Memory Alloys used as actuators and sensors. *Automation in Construction*, 85, 220-231.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.006>
- Fox, M. A., & Yeh, B. P. (1999 December). Intelligent kinetic systems in architecture. In *Managing Interactions in Smart Environments: 1st International Workshop on Managing Interactions in Smart Environments (MANSE'99)*, Dublin, 91-103.
- Güzer, C.A., Kahraman, İ., Kanan, N.Ö, Tombak, E., Kabakçı, O.K., Gül, K. (2016, Mayıs). *Bütünleşik bina tasarımı yaklaşımı ile proje geliştirme süreci uygulama kılavuzu*. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Çankaya, Ankara.
<https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu838.pdf>
- Haghighat, S., & Sadeh, H. (2023). Parametric design of an automated kinetic building façade using BIM: A case study perspective. *Journal of Building Engineering*, 73, 106800.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106800>
- Heidari Matin, N., & Eydgahi, A. (2022). Technologies used in responsive facade systems: a comparative study. *Intelligent buildings international*, 14(1), 54-73. <https://doi.org/10.1080/17508975.2019.1577213>
- Henríquez, D., Herrera, R. F., & Vielma, J. C. (2022). Method for designing prequalified connections using generative design. *Buildings*, 12(10): 1579. <https://doi.org/10.3390/buildings12101579>
- Hosseini, S. M., Mohammadi, M., & Guerra-Santin, O. (2019). Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. *Building and Environment*, 165, 106396. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106396>
- Hosseini, S. M., Mohammadi, M., Schröder, T., & Guerra-Santin, O. (2020). Integrating interactive kinetic façade design with colored glass to improve daylight performance based on occupants' position. *Journal of Building Engineering*, 31, 101404. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101404>
- Hosseini, S. M., Mohammadi, M., Schröder, T., & Guerra-Santin, O. (2021). Bio-inspired interactive kinetic façade: Using dynamic transitory-sensitive area to improve multiple occupants' visual comfort. *Frontiers of Architectural Research*, 10(4), 821-837. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.004>
- Khoo, C. K. (2013). *Morphing architecture with responsive material systems* (Doctoral dissertation, RMIT University). <https://researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/doctoral/Morphing-architecture-with-responsive-material-systems/9921861599501341>

- Khidmat, R. P., Fukuda, H., Paramita, B., Qingsong, M., & Hariyadi, A. (2022). Investigation into the daylight performance of expanded-metal shading through parametric design and multi-objective optimisation in Japan. *Journal of Building Engineering*, 51, 104241. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104241>
- Knippers, J., Scheible, F., Oppe, M., & Jungjohann, H. (2012 July). Bio-inspired kinetic gfrp-façade for the thematic pavilion of the expo 2012 in yeosu. *International Symposium of Shell and Spatial Structures IASS 2012*, 90(6), 341-347. Seoul, South Korea. https://www.researchgate.net/publication/311534824_Bio-inspired_Kinetic_GFRP-facade_for_the_Thematic_Pavilion_of_the_EXPO_2012_in_Yeosu
- Kolarevic, B. (2003). *Designing and manufacturing architecture in the digital age*. (1st ed.) Taylor & Francis <https://doi.org/10.4324/9780203634561>
- Le-Thanh, L., Le-Duc, T., Ngo-Minh, H., Nguyen, Q. H., & Nguyen-Xuan, H. (2021). Optimal design of an Origami-inspired kinetic façade by balancing composite motion optimization for improving daylight performance and energy efficiency. *Energy*, 219, 119557. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119557>
- Leach, N. (2009). Digital morphogenesis. *Architectural Design*, 79(1), 32-37. <https://doi.org/10.1002/ad.80>
- Loonen, R. C., Favoino, F., Hensen, J. L., & Overend, M. (2017). Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades. *Journal of Building Performance Simulation*, 10(2), 205-223. <https://doi.org/10.1080/19401493.2016.1152303>
- Ma, W., Wang, X., Wang, J., Xiang, X., & Sun, J. (2021). Generative design in building information modelling (BIM): approaches and requirements. *Sensors*, 21, 21(16), 5439. <https://doi.org/10.3390/s21165439>
- Mahmoud, A. H. A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126, 111-127. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.039>
- Mallasi, Z. (2018). Using parametric BIM integration for prototyping future responsive façades. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6(1): 89-100. <https://doi.org/10.7480/jfde.2018.1.1865>
- Megahed, N. A. (2017). Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy. *Architectural Engineering and Design Management*, 13(2): 130-146. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1203676>
- Menges, A., & Ahlquist, S. (2011). *Computational design thinking: computation design thinking*. John Wiley & Sons.
- Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Willmann, A., & Schlueter, A. (2016). The adaptive solar facade: from concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2), 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.03.002>
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3): 229-265. doi:10.1016/j.destud.2005.11.002
- Oxman, R., Gu, N. (2015 16-18 September). Theories and models of parametric design thinking. *Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*. 2, 477-482, Vienna, Austria. DOI:10.52842/conf.ecaade.2015.2.477
- Panya, D. S., Kim, T., & Choo, S. (2020). A methodology of interactive motion facades design through parametric strategies. *Applied Sciences*, 10(4), 1218. doi: <https://doi.org/10.3390/app10041218>
- Radwan, G. A., & Osama, N. (2016). Biomimicry, an approach, for energy effecient building skin design. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.017>
- Ramzy, N., & Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Society*, 1(3): 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.004>
- Reichert, S., Menges, A., & Correa, D. (2015). Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. *Computer-Aided Design*, 60, 50-69. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.02.010>
- Sadegh, S. O., Gasparri, E., Brambilla, A., & Globa, A. (2022). Kinetic facades: An evolutionary-based performance evaluation framework. *Journal of Building Engineering*, 53, 104408. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104408>
- Samir, H., Shahin, M. (2018). Adaptive building envelopes of multistory buildings as an example of high performance building skins. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 346-348.

<https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.11.013>

- Sankaewthong, S., Horanont, T., Miyata, K., Karnjana, J., Busayarat, C., & Xie, H. (2022). Using a biomimicry approach in the design of a kinetic façade to regulate the amount of daylight entering a working space. *Buildings*, 12(12), 2089. <https://doi.org/10.3390/buildings12122089>
- Schleicher, S., Lienhard, J., Poppinga, S., Speck, T., Knippers, J. (2015). A methodology for transferring principles of plant movements to elastic systems in architecture. *Computer-Aided Design*, 60, 105-117 <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.01.005>
- Seyrek, C. I., Widera, B., & Woźniczka, A. (2021). Sustainability-related parameters and decision support tools for kinetic green façades. *Sustainability*, 13(18): 10313. <https://doi.org/10.3390/su131810313>
- Shen, Y. T., & Lu, P. W. (2016, March). The development of kinetic façade units with BIM-based active control system for the adaptive building energy performance service. *International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA* 517-526. DOI:10.52842/conf.caadria.2016.517
- Shen, Y. T., & Wu, T. Y. (2016 17-22 July). Sync-BIM: the interactive BIM-Based platform for controlling data-driven kinetic façade. *HCI International 2016-Posters' Extended Abstracts: 18th International Conference, HCI International Proceedings Part II*, 445-450, Toronto, Canada. DOI:10.1007/978-3-319-40542-1_72
- Sherbini, K., & Krawczyk, R. (2004 December). Overview of intelligent architecture. *1st ASCAAD International Conference-Design In Architecture KFUPM*, 137-152. Dhahran, Saudi Arabia. <https://www.ascaad.org/conference/2004/pdfs/paper10.pdf>
- Soleimani, A. (2019 18-20 October). Computational Design Thinking and Thinking Design Computing. *2019 Reynolds Symposium: Education by Design*, Portland, US. <https://www.wiley.com/en-us/Computational+Design+Thinking:+Computation+Design+Thinking-p-9780470665701>
- Stevenson, C. M. (2011 March). Morphological principles: current kinetic architectural structures. *Conference: In Adaptive Architecture*, 1-12. Building Centre Trust and the University of Nottingham, London. https://www.researchgate.net/publication/316885581_Morphological_Principles_of_Current_Kinetic_Architectural_Structures
- Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021). A review of occupant-centric control strategies for adaptive facades. *Automation in Construction*, 122, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103464>
- Tabadkani, A., Shoubi, M. V., Soflaei, F., & Banihashemi, S. (2019). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction*, 106, 102857. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102857>
- Wang, J., Li, J., Chen, X. (2010 17-19 December). Parametric design based on building information modeling for sustainable buildings. *2010 International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering*, 237-238. Chengdu, China. doi: DOI: 10.1109/ICCIS.2010.351
- Yekutieli, T. P., and Y. J. Grobman. (2014). Controlling Kinetic Cladding Components in Building Facades: A Case for Autonomous Movement. *The proceeding of 19th international conference of the association of computer-aided architectural design research in Asia*, Hong Kong. DOI:10.52842/conf.caadria.2014.129
- URL-1: <https://www.arkitektuel.com/fun-palace-cedric-price/> Erişim Tarihi: 16.04.2023
- URL-2: <https://www.arkitektuel.com/plug-in-city/> Erişim Tarihi: 16.04.2023
- URL-3: <https://www.imarabe.org/en/architecture> Erişim Tarihi: 16.04.2023
- URL-4: <https://nedkahn.com/portfolio/wind-veil/> Erişim Tarihi: 17.04.2023
- URL-5: <https://igsmag.com/features/case-studies/the-al-bahar-towers-shading-the-real-envelope/> Erişim Tarihi: 17.04.2023
- URL-6: <https://www.evolo.us/opening-of-the-thematic-pavilion-for-the-expo-2012-yeosu-south-korea-soma/> Erişim Tarihi: 17.04.2023
- URL-7: <https://arquitecturaviva.com/works/media-tic-building> Erişim Tarihi: 17.04.2023

Ergonomi Ölçütlerinin Üniversite Yapısında Değerlendirilmesi

Evaluation of Ergonomics Criteria in University Building

Sinem TAPKI¹

^{1*} Bursa Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Bursa, Türkiye

ÖZET

Eğitim ergonomisi, eğitmen ve öğrencinin çalışma ve öğrenme mekanlarında azami verim alınabilecek biçimde düzenlenmesidir. Bu çalışmada, üniversite kampüslerinde ve yapılarında öğrenci-mekan-donatı ilişkilerinin ergonomik açıdan değerlendirilmiştir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında "ergonomi", "eğitim ergonomisi", kavramları araştırılmıştır. Çalışmanın en detaylı bölümünde; ergonomi kavramı bağlamında Türkiye'de mevcut olan ve yeni yapılacak üniversite kampüsleri için ergonomik yeterliliklerinin ölçülebilmesi için "değerlendirme ölçütleri" oluşturulmuştur. Mekansal, görsel, işitsel, termal ve davranışsal konfor başlıklarından oluşan değerlendirme ölçütleri ve ölçütlerin yorumu ile üniversite kampüsü ve yapısında ergonomi çalışmalarına bütüncül, sistematik ve eleştirel bir bakış açısı getirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, değerlendirme ölçütlerinin sınanması için alan çalışması yapılmıştır. Bu bağlamda orta büyüklükteki bir kentte yeni kurulan üniversitenin mimarlık bölümü binası araştırma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda atölyelerin mekansal büyüklükleri ve konumlarının yanlış olduğu, fiziksel ve görme engellilerin yapı içerisinde düşünülmediği görülmüştür. Fiziksel engelliler, yapı içerisinde mekanlar arası erişimde zorlanmaktadır. Yapıda sadece engelliler için akademisyen ıslak hacimleri tasarlanmıştır. Yapıda görme engelliler için hissedilebilir yüzey işaretlemeleri yapılmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, eğitim ergonomisi, üniversite yapıları, mimarlık bölümü ve ergonomi, mekan tasarımı

ABSTRACT

Educational ergonomics is the arrangement of educators and students in working and learning spaces in such a way that maximum efficiency can be obtained. In this study, student-space-equipment relations in university campuses and buildings were evaluated from an ergonomic point of view. The study consists of two stages. In the first stage of the study, the concepts of "ergonomics", "educational ergonomics" were investigated. In the most detailed part of the study; In the context of the concept of ergonomics, "assessment criteria" have been created in order to measure the ergonomic competencies of existing or newly built university campuses in Turkey. A holistic, systematic and critical perspective has been brought to ergonomics studies in the university campus and its structure, with the evaluation criteria and interpretation of the criteria consisting of spatial, visual, auditory, thermal and behavioral comfort headings. In the second stage of the study, a field study was conducted to test the evaluation criteria. In this context, the architecture department building of the newly established university in a medium-sized city was chosen as the research area. At the end of the study, it was seen that the spatial sizes and locations of the workshops were wrong and the disabled were not considered in the building.

Keywords: Ergonomics, educational ergonomics, university building, architecture department and ergonomics, space design.

Başvuru: 05.08.2023 Revizyon Talebi: 31.10.2023 Son Revizyon: 20.11.2023 Kabul: 28.11.2023

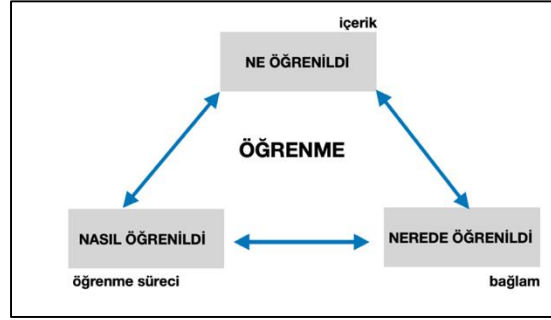
Doi: 10.51764/smutgd.1338360

Bu çalışma 27.Ulusal Ergonomi Kongresinde sözlü olarak sunulan; tam metni yayımlanmayan çalışmanın geliştirilmiş halidir.

*Sorumlu yazar: Bursa Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Bursa, Türkiye; E-mail: sinem-tapki@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-7210-2044

1. GİRİŞ

Eğitim, toplumların gelecekte değerlerini ve varlıklarını koruyan, mevcut durumlarını geliştiren ve güçlendiren en temel araçtır (Şensoy Al, 2020). Eğitim kavramının içerisinde hangi bilginin (içerik), nasıl öğrenildiği (öğrenme süreci) kadar; hangi mekanda öğrenildiği (bağlam) de önemlidir (Şekil 1). Taylor bağlamı; öğrenmenin gerçekleştiği ve öğrenilen bilginin aktif olarak kullanıldığı fiziksel mekan olarak belirtir (Taylor, 2009). Özetle öğrenim mekanı eğitim faaliyetinde etkili ve öğrenmeyi desteklemektedir.



Şekil 1. Öğrenme ilişkisi

Türkiye’de eğitim mekanları; standart, büyüklük, mimari tasarım anlayışı, sürdürülebilirlik, tipoloji, mimari kimlik, ergonomi gibi konularda sorunsallarla karşılaşmaktadır. Bu sorunsallar içerisinde eğitim ergonomisi olgusu sadece dersliklerden ve sıralardan değil bütün eğitim mekanları ve çevresi ile düşünülmelidir.

Bu çalışma; eğitim mekanları olan üniversite kampüsünü, mimarlık bölümü öğrenme ortamını ve ergonomi ilişkisini odağına alarak, mimarlık bölümü eğitim mekanlarının oluşumunda ergonomik konfor koşullarını tartışmayı hedeflemektedir.

Mimarlık eğitiminin verildiği tasarım stüdyoları; tasarım problemlerine çözümlerin arandığı, tasarım sürecinin tartışıldığı, eğitimci-öğrenen ilişkisinin olduğu dinamik mekanlardır (Şekil 2). Tasarım stüdyoları, öğrencilerin ders dışındaki zamanlarında da aktif olarak kullanılan mekanlardır. Bu mekanlar ayrıca öğrencilerin sosyalleşebildiği alanlardır.



Şekil 2. Eğitim yapısı ve kavramlar

Mimarlık eğitiminin verildiği yapılar; mimarlık eğitiminin anlayışı çerçevesinde sürekli öğrenme, deneyim ve gözlem ortamını barındırarak; tip eğitim mekanlarında yer alan kalıplaşan tek tip mekan, sabit düzen, sabit mekan kullanım alışkanlıklarına alternatif bir deneyim sunan esnek, özgür mekan zemini oluşturmaktadır. Bu bağlamda eğitim mekanlarının farklılaşması ve farklı kullanım alternatifleri sunması önemlidir (Sanoff, 1995). Mekan tasarımında, fiziki boyutlar ve özellikleri, mekanda kullanılan renk, ve malzemeler; mekanda bulunan kişilerin verimlilik, performans ve moral gibi faktörlerden etkilemektedir. Mekanların ergonomik açıdan düzenlenmesi, diğer tüm düzenlemelerle etkileşim içindedir (Ertaş, 2012). Mekanları ergonomik açıdan etkileyen faktörler; renk, malzeme, donatı- araç/gereç tasarımı, boyutları ve çalışma alanlarının düzenidir (Kanawaty, 1997). Eğitim yapısının konumlandırılması, yapının plan kurgusu, mekân organizasyonu gibi birçok faktör ergonomik tasarım kararlarının alınmasını gerektirir (Yanılmaz, Sönmez, Ertaş Beşir, 2019).

Mimarlık bölümü eğitim yapıları; topoğrafyayı kullanma, yapıdan öğrenme, yapı formu, ölçek, mimari dil, sosyal mekanlara sahip olma, yapı malzemesi ve taşıyıcı sistem detaylarını öğrenme için deneysel bir ortam oluşturmaktadır. Çağdaş bir eğitim yapısı, etkileşim yoluyla öğrenme, deneyimleme ortamı sunmalıdır.

Çalışma, üniversite yapılarında mekanların tasarımında ergonomi kavramı üzerine, uygulanmış, orta büyüklükteki bir kentte yeni kurulan üniversitenin mimarlık bölümü yapısı üzerinden bir tartışma ve değerlendirme ortamı yaratmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla çalışmada, aşağıdaki sorulara cevaplar aranmıştır:

- Eğitim yapısı mimarlık bölümü eğitim anlayışına uygun mu tasarlanmıştır?
- Yapı esnek plan şemasına sahip, tasarım bölümü eğitim mekanlarını barındırmakta mıdır?
- Fiziki mekanların büyüklükleri öğrenci sayısına göre yeterli midir?
- Fiziki mekanlar; mekansal, görsel, işitsel, termal, davranışsal konfor koşullarını sağlamakta mıdır?
- Eğitim yapısında kullanılan donatı elemanları ergonomik açıdan uygun mudur?

Üniversite yapılarının ergonomik tasarım kriterlerine uygunluğunu analiz etmeyi amaçlayan bu çalışmada Mühendislik ve Mimarlık Fakültesine bağlı Mimarlık Bölümü yapısında mevcut duruma ilişkin tespit, inceleme ve anket çalışması yapılmıştır. Mekanların mevcut durumlarının tespit ve incelemesinde ergonomik ölçütler oluşturulup bu ölçütler üzerinden mekanlar analiz edilmiştir. Analiz sonuçları oluşturulan mekan föyleri ile aktarılmıştır. Anket çalışması, öğrenciler ve eğitimcilerle yapılmıştır ve bu anket çalışmasından elde edilen bilgiler grafiklerle görselleştirilmiştir. Çalışma, üniversite yapılarının ergonomik ölçütler bağlamında tasarım ve uygulamasında yol gösterici rehber olma açısından önem arz etmektedir.

2. EĞİTİM YAPILARI VE ERGONOMİ

Üniversite kampüsleri; öğrencilerin kentle karşılaştıkları, çevresel beğenilerinin oluşmaya başladığı, sosyal ve kültürel ilişkilerinin gelişmesine yönelik adımların atıldığı yerlerdir. Bu nedenlerden dolayı kampüsler, kentlerin bir simülasyon mekanı olduğu, kentsel yaşam ve kent kültürüne dair bilgilerin kazanıldığı mekanlar olarak görülebilir.

Herman Hertzberger üniversite kampüslerini ve yapılarını yaşam ve kentin simülasyonu olarak gördüğü “bence okul küçük bir şehir gibi olmalı. Bir şehirde küçük yerler, büyük yerler, her türden tenha ve yarı tenha yerler vardır, manzaralar ve her türlü faaliyet vardır. Aslında, bu öğrenciler henüz şehre gidip kentin hayatını keşfetme zamanını bulamadılar ama hayatı okul aracılığıyla keşfetmeliler, bu yüzden okulda, dünyayı okul binası aracılığıyla deneyimleyebilecekleri mümkün olduğu kadar çok durum yaratmalısınız.” sözlerinden anlaşılmaktadır (Hertzberger, 2016).

Altmann eğitim yapılarında ve eğitim mekanlarında öğrenme için iyi koşulların oluşması amaçlanıyorsa bu durumun fiziksel çevre özelliklerine bağlı olduğunu belirtir. Bu özellikleri güvenlik, memnuniyet, kullanıma uygunluk, kimlik, sosyal alan olarak sıralamıştır (Altmann, 2015).

Woolner ise eğitim mekanının olumsuz durumlarının yetersiz öğrenmeye neden olacağını söylemektedir. Hava kalitesi, gürültü, aydınlatma, düzenli bakımın öğrenmeye etkili olan mekan koşulları olduğunu ifade eder (Woolner, 2010). Schneider, eğitim mekanının havalandırma ve hava kalitesinin, ısı ve akustik konfor koşullarının, mekan büyüklüğünün, sınıftaki öğrenci sayısının; öğrencilerin başarı ve öğrenme durumlarına etkisini analiz etmiştir. Analiz sonucunda bu koşulların öğrenme performansını etkilediğini ortaya koymuştur (Schneider, 2002). Moore ve Lackney, eğitim mekanları boyutlarının, eğitim yapısı büyüklüğünün, eğitim yapısının konumunun öğrenci başarısını etkilediğini belirtmiştir (Moore ve Lackney., 1993).

Higgins ve diğerleri, eğitim yapısını etkileyen unsurları sıcaklık ve hava kalitesi, aydınlatma, gürültü, renk, kullanılan mobilya ve donatılar olarak sıralamıştır (Higgins vd., 2005).

Sonuç olarak, yapılan çalışmalar öğrenme mekanının fiziksel çevre koşullarının öğrenme üzerinde etkin bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

Ergonomi, bireylerin fiziksel ve psikolojik özellikleri incelenerek, çevresi ve donatı-mobilya-makine ile uyumunu inceleyen bilim dalıdır. Bu ilişkiyi inceleyen ergonomi alanı; mimarlık, mühendislik, psikoloji, sosyoloji, fizyoloji gibi alanlardan yararlanan disiplinler arası yöntemlerle çalışıp, uygun çalışma, yaşam mekanlarını ve konfor koşullarını oluşturmayı amaçlar.

Eğitim ergonomisi, eğitimci ve öğrencinin çalışma ve eğitim mekanlarında azami verimi alabilecek şekilde konfor koşullarına göre düzenlenmesidir. Eğitim ortamının ergonomik konfor koşulları olarak beş temel özelliği; mekansal konfor, görsel konfor, işitsel konfor, termal konfor, davranışsal konfor olarak sıralanır (Şekil 3).

Eğitim mekanları kalabalık ve hareketli kitleler tarafından, hızlı ve dinamik biçimde kullanılmaktadır. Eğitim yapılarının kullanım biçimi, ergonomik konfor sağlayıcı unsurlar açısından irdelenmelidir. Eğitim yapısı bir bütün olarak ele alınıp; üniversite kampüsü, bölüm yapıları, stüdyolar, amfiler, koridor, merdiven, tuvalet, donatı elemanları ayrı ayrı konfor ilişkilerine göre analiz edilmelidir.



Şekil 3. Üniversite yapısı ve ergonomi kavramı

2.1 Mekânsal Konfor

Mekansal konfor, öğrenmeyle ilişkili çevresel değişkenleri içermektedir. Bu değişkenler; mekanın boyutları, tasarımı, eylem alanı sınırları, donatılar, oturma pozisyonu, mobilya düzeni, yoğunluk, engelli kullanımı olarak belirlenebilir. Mekansal konfor koşullarının sağlanmasındaki amaç, öğrencilerin öğrenimlerini gerçekleştirecekleri en uygun özellikte mekanlar tasarlamaktır. İç mekan donatıları kullanıcı- eylem çeşidine göre tasarlanan eğitim mekanlarında konfor koşullarını arttıran öğeler arasındadır. Birey- donatı ilişkisi zamanla birey-donatı-mekan ilişkisine dönüşmektedir. Tüm donatılar üniversite çağındaki öğrencilerin antropometrisine uygun olmalıdır. Öğrenme odaklı eğitim yaklaşımlarında sabit masa ve sandalyeler yer almamaktadır. Öğrenme mekanında etkinliğe göre donatı elemanlarının değiştirilmesi, mekanın esnek olması istenmektedir. Eğitim yapılarının herkes için erişilebilir olması ve insanların yardım almadan eğitim yapısına ulaşım, yapıya girmeleri, yapı içerisinde istedikleri mekana ulaşabilmeleri gereklidir. Olumlu bir mekansal konfor ortamının sağlanması, bilişsel ve zihinsel kavramayı ve öğrenmeyi destekler, sosyal altyapıyı pekiştirir, duylara hitap ederek çok duyulu öğrenme imkan tanır.

2.2 Görsel Konfor

Görsel konfor; mekandaki aktiviteler sırasında görsel açıdan optimum durumun oluşması için gerekli aydınlatma kalitesidir. Eğitim mekanlarının işlevsel olarak kullanılabilmesi için gereken önemli faktörlerden biri ışıktır. Işığın nicelik ve nitelik değerlerine göre mekanların kullanım biçimini, kullanıcılarda mekan algısını, öğrenim faaliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Knez ve Kers eğitim mekanlarının aydınlatması, öğrencilerde hafızayı, algısal performanslarını etkileyerek problem çözümlerini doğrudan etkilediğini ifade etmektedir (Knez ve Kers, 2000). Öğretmenler ve öğrencilerin performansını arttırmak için optimum aydınlık seviyesi sağlanmalı ve uygun olan doğal veya yapay ışık kaynakları kullanılmalıdır.

Eğitim yapılarında maksimum düzeyde doğal aydınlatmadan yararlanılması beklenmektedir. Doğal aydınlatmanın hem ekonomik hem de görsel konfor ve psikolojik sağlık koşullarına olumlu katkısı vardır. Ayrıca doğa, doğal yaşam ile ilişki kurar. Gün ışığının mümkün olduğunca maksimum düzeyde eğitim yapısının içerisine gireceği tasarımlar geliştirilmelidir. Geniş pencere yüzeyleri, çatı pencereleri eğitim yapıları tasarımında sık kullanılmalıdır. Galeri boşlukları, görsel iletişimi katlar boyunca devam ettirip, gün ışığını alarak görsel konforun sağlanmasına yardımcı olacaktır ve mekanın bütünsel olarak algılanmasını ve mekanların görünürlüğünü arttıracaktır (Şensoy, 2020)

Doğal aydınlatmanın yetersiz olduğu durumlarda yapay aydınlatmalardan yararlanılmalıdır. Eğitim mekanlarında önerilen aydınlık düzeyleri gereksinimleri; derslik 300 lux, teknik çizim dersliği 750 lux, yazı tahtası 500 lux, toplantı odaları 200 lux, laboratuvar 500 lux, konferans salonları 500 lux, merdivenler 150 lux, sirkülasyon alanları 100 lux, giriş holü 200 lux şeklindedir (Atiş, 2008).

Aydınlatma, eğitim mekanlarının görsel konforunu doğrudan etkilediği için renk, biçim, doku, malzeme, ile birlikte tasarlanmalıdır. Renk kullanımının, işlevsel, estetik, simgesel ve psikolojik etkileri bulunmaktadır. Renk, tasarım elemanı olarak değerlendirilip mekânlarda bilinçli kullanılmalıdır. Stone ve English, soğuk renklerin eğitim mekanlarında kullanımı sakinleştirici; sıcak renklerin kullanımının teşvik edici olduğunu

belirtir (Stone ve English, 1998). Sert ve zıt renkler ile doygun renkler mekanda öğrencilerin görüş alanı içinde olmamalı ve mekanda fazla yer kaplamamalıdır. Derslikte yazı tahtasının bulunduğu yüzeyde çok doygun ve parlak renkler kullanılmayarak gözlerin yorulması önlenmelidir. Renklerin psikolojik etkileri de düşünülerek, eğitim mekanlarında yaratıcılığı, hayal gücünü teşvik eden renkler tercih edilmelidir.

2.3 İşitsel Konfor

İşitsel konfor; mekan içerisinde sözel iletişimin etkili ve verimli olabilmesini sağlayan gerekli koşullarla ilgilidir. Bir eğitim mekanının kötü olan işitsel konforu, eğitim sürecine ve öğrenci performansına etkisi olumsuz olmaktadır. Gürültü kirliliğinin olduğu eğitim mekanlarında, işitme duyusu ve dil gelişimi de olumsuz yönde etkilenmektedir. İşitsel konfor koşullarını sağlayan eğitim mekanlarında, iletişim ve öğrenme daha kolay ve etkili; sözlü tekrarlamalar daha az olmaktadır. Eğitim mekanlarında arka plan gürültüsünün yüksek seviyede olması ve yüksek yankılanma süreleri eğitimi olumsuz etkilemektedir (ANSI, 2002).

Building Bulletin 93'e göre eğitim yapılarının akustiği için standartlar belirlenmiştir. Bu standartlara göre eğitim yapısı yerleşkesi çevresinde gürültü düzeyi maksimum 60 dB, eğitim mekanlarında 30 dB, toplantı salonlarında 35 dB, laboratuvarlarda 40 dB şeklindedir (BB93, 2018). Eğitim yapılarının dış mekan kullanım alanlarında (kampüs içerisinde) gürültü düzeyinin maksimum 60 dB olması gerekmektedir (Güremen, 2012). Avrupa'da dersliklerde kabul edilen en yüksek gürültü düzeyleri ülkelere göre farklılık göstermektedir. Portekiz'de 35 dB, İsveç'de 30 dB, Belçika'da 30-45 dB, Fransa'da 38 dB, Almanya'da 30 dB'dir. Türkiye'de Çevresel Gürültü Değerlendirmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre dersliklerde ders sırasında gürültü sınır değeri 35 dB olarak belirlenmiştir (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi).

Eğitim yapıları yakın çevresinde alınabilecek önlemler; eğitim yapısı ile gürültü kaynağı arasında dört mevsim yeşil kalabilen ağaçlar yerleştirilerek doğal bariyerler oluşturulması, topoğrafyanın kullanılması, özel olarak tasarlanmış yapay bariyerlerin yerleştirilmesi gibi uygulamalar sıralanabilir. Eğitim yapılarının iç mekanlarında işitsel konforun sağlanması için; sesli mekanların sessiz mekanlardan uzak tasarlanması, koridora açılan kapıların şaşırtmalı olarak konumlanması, mekanlarda yansıtıcı ve yutucu malzemelerin seçilmesi, amfilerde kürsünün ya da öğrencilerin sıralarının bulunduğu kotların yükseltilmesi alınacak önlemlere örnek verilebilir.

2.4 Termal Konfor

Termal konfor; mekanın optimum şekilde havalandırması ve ısıtılması, iklimlendirilmesi faktörlerini ele almaktadır. Günün büyük bir kısmını eğitim mekanlarında geçiren eğitimciler ve öğrenciler için iç hava kalitesi ve ısısal konfor koşulları, öğrenme sürecine ve performansa etkili olan unsurlardandır. Eğitim mekanındaki nem, sıcaklık, hava hızı değerleri termal konforu oluşturan faktörlerdir. Havalandırmanın yetersiz olduğu mekanlarda sağlık sorunları ve yapısal hasarlar (küf, çürüme vb.) görülmektedir. Eğitim mekanlarında termal konfor değerleri; bağıl nem miktarı % 40-60, kış mevsiminde iç ortam sıcaklığı 20-24 derece, yaz döneminde 23-27 derece olarak belirlenmiştir (Okullarda ısısal konfor, 2019). Eğitim mekanlarında optimum sıcaklık ve nem değerlerine ulaşmak için doğal havalandırma sistemlerinden yararlanılmalıdır. Galeri boşlukları, karşılıklı açılan kanatlı pencereler, rüzgar bacaları gibi yapısal düzenlemeler ile doğal havalandırmanın kullanımı sağlanmalıdır. Ayrıca güneş ışığının kontrollü bir biçimde eğitim mekanlarına alınması, mekanların aşırı ısınmasını engelleyecektir.

2.5 Davranışsal Konfor

İnsan, Dünya'da varlığını sürdürmeye başladığı andan itibaren mahremiyet, kişisel alan, sosyal etkileşim kavramları birlikte gelmiştir. İnsanlar kişilik özellikleri, hayat tarzlarına göre mekanda düzenlemeler yaparlar ve kendi kişisel alanlarını oluştururlar. Kişisel alan insanların beş duyu ile algıladıkları, diğer insanlar ile arasındaki mesafedir. İnsanlar, bu kişisel alan içerisinde kendilerini güvende hissederler. Mahremiyet, insanın başka bir insana veya gruba optimum ölçüde yaklaşmasıdır. Mahremiyet, insanın kendini güvende hissetmesi ile ilişkilidir. Eğitim mekanlarında, mahremiyet, kişisel alan, sosyal alan, mekanın kullanıcıdaki psikolojik etkileri, mekandaki insanın diğer bir insanla kurduğu mesafe davranışsal konforu oluşturmaktadır. Mekan içerisindeki kullanıcının faaliyete göre optimum hareket sağlayabilmesi, mekanda sıklık hissinde uzak olması, kişinin mekanda geçirdiği süreyi, performansı ve öğrenimin kalitesini etkilemektedir.

Kapalı bir öğrenme mekanı içerisinde bireysel çalışma, grup çalışma gibi farklı alt mekanlar oluşturulup bu mekanlar başka mekanlara açılabilir. Eğitim mekanlarının belirli bölgeleri bireysel çalışmalar için ayrılabilir. Öğrenciler için kişisel alanlar oluşturulmalıdır. Her öğrencinin öğrenme hızı, yetenekleri farklı olduğundan;

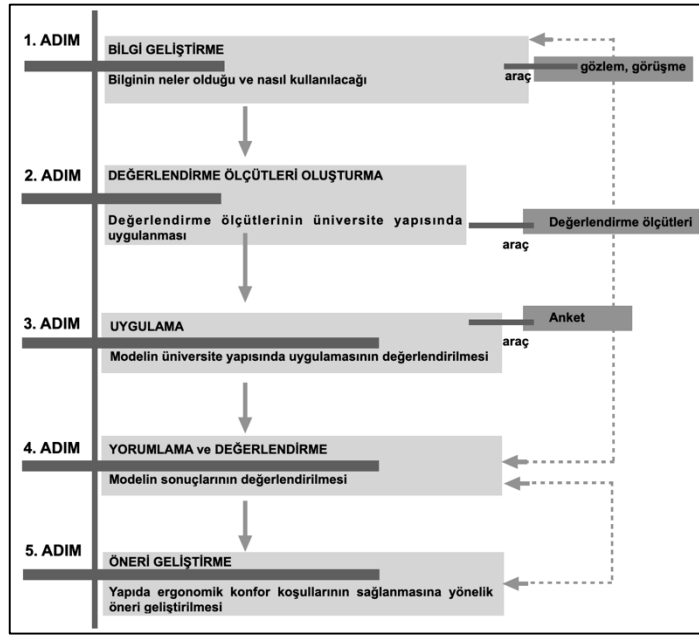
kişisel alan içerisinde öğrenci için bireysel çalışma alanı düşünülmesi önemlidir.

Eğitim mekanları, öğrencilerin rahat hareket edebileceği ve farklı işler için farklı mekanlar bulmasına, öğrencinin seçim yapmasına imkan tanıyacak esnek tasarlanmalıdır.

Eğitim yapılarında tüm mekanlar öğrenme alanı olmasının yanında aynı zamanda öğrencilerin sosyalleşme alanıdır. Öğrenciler kapalı derslikler dışındaki alan olan koridorlarda, kantinde, merdivenlerde, toplanma alanlarında, kapı girişlerinde, kampüs içerisinde birbirleri ile iletişim kurmaktadır. Bu iletişimi sağlayacak mekanların tasarlanmasıyla da sosyalleşebilmektedirler.

3.YÖNTEM

Çalışma kapsamında eğitim yapılarında bilgi geliştirilecek alan olarak üniversite mimarlık bölümü yapısı belirlenmiştir. Çalışma beş adımdan oluşmaktadır (Şekil 4).



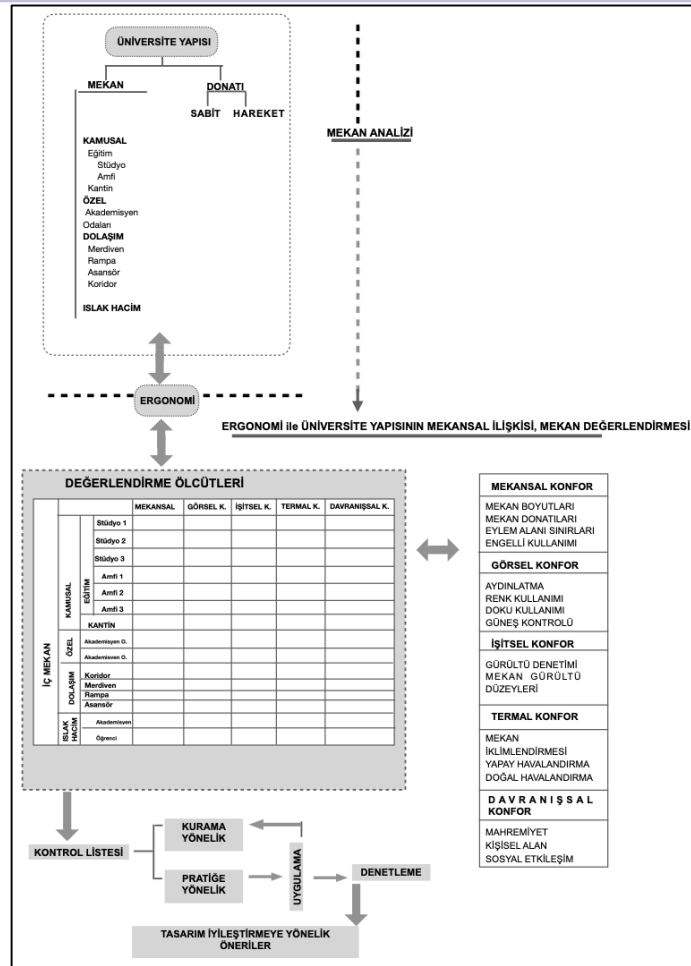
Şekil 4. Çalışmanın adımları

Bu bölümde çalışmanın adımları detaylı olarak anlatılmaktadır:

1. Adım: Üniversitedeki mimarlık bölümü yapısını; mekansal olarak gruplara ayırmak, analiz edilecek mekanları tanımlamak
2. Adım: Öneri "Değerlendirme Ölçütlerinin" Oluşturmak
3. Adım: Değerlendirme ölçütlerini bölüm binasında uygulamak
4. Adım: Saptanan verileri yorumlamak ve değerlendirmek.
5. Adım: Tasarımı iyileştirmeye yönelik öneriler geliştirmek

Çalışmada değerlendirme ölçütlerinin oluşturulmasında, ergonomik konfor koşullarını içeren bir kontrol listesi oluşturulmuştur. Bu kontrol listesi oluşturulurken literatürden rehber oluşturacak standartlar, mevzuatlar da ilave edilmiştir. Analiz edilen nitelikler sadece mekansal konfor koşullarını sağlamaya yönelik değil; görsel, işitsel, termal ve davranışsal konfor koşullarının da değerlendirilmesine yönelik biçimlenmiştir. Değerlendirme ölçütlerindeki, mekan değerlendirmesi 4 ana grup altında incelenmektedir: Kamusal (Eğitim (stüdyo, amfi), Özel (Akademisyen Odaları), Dolaşım (Merdiven, Rampa, Asansör, Koridor), Islak Hacim.

Ergonomik değerlendirme üzerine **bilgi**, "Yapı" ve destekleyici faktör olan "Donatı" ve "Kullanıcı" çerçevesinde gelişmektedir. "Kullanıcı", "Donatı", "Yapı" olarak bütünleşen sistem, ergonomik tasarımı ilgilendiren insan, nesne ve mekan kavramlarına karşılık gelmektedir. **Yapı**; iç ve dış mekan, **Donatı**; sabit ve hareketli, **Kullanıcı**; öğretmen ve öğrenci olarak alt başlıklara ayrılmıştır. Ergonomik Değerlendirme Ölçütleri ışığında yapılan, her bir elemana ait analiz ile ilgili elemana ait bilgi oluşmaktadır. Her bir analiz sonucunda elde edilen bilgiler birbirini bütünleyicidir. Alan çalışmasında ergonomik tasarım gereksinimlerini ortaya koymak ve değerlendirmek amaçlı aşağıdaki yöntem kurgulanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışmanın yöntemi

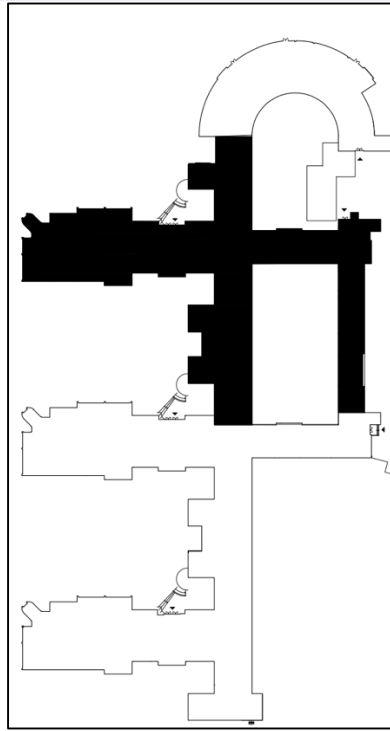
Alan çalışması araştırmanın en detaylı olan bölümünü oluşturmaktadır. Bu aşamada mimarlık bölümü yapısı, ergonomik konfor koşullarına yönelik detaylı analiz edilmiştir. Kullanım sonrası değerlendirme yönteminin temel araçlarından biri gözlem kartı ve ankettir. Konusunda uzman gözlemciden yapı ve mekanlar hakkında hem grafiksel hem aletler ile ölçüm hem de sözel değerlendirmelerin beraber yapılması beklenmektedir. Gözlem sırasında; mekan ve donatı elamanlarına ait bilgiler (boyut, tanımlar, çizim, kullanıcı görüşleri), ışık, renk, doku, ısı, hava, mahremiyet, gibi konfor soruları bulunmaktadır. Gözlemci, analiz yapabilmek için mekanda ölçümler yapabilir ve kendi kişisel görüşünü ekleyebilir.

Alan Çalışmasının ikinci aşamasında veri toplama için bir anket geliştirilmiştir. Anket 45 kullanıcıya internet yolu ile çevrimiçi uygulanmıştır. Ankette açık uçlu sorularda kullanıcı görüşleri de yer almaktadır. Anket sonuçları grafiksel olarak görselleştirilmiştir.

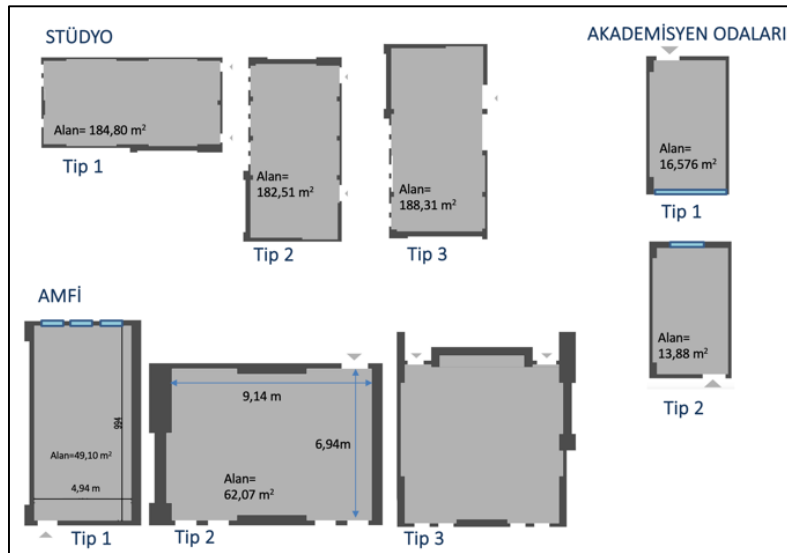
4.BULGULAR

Üniversitede, kampüs ve yapı ölçeğinde büyümeye, gelişmeye imkan sağlayan bir tasarım anlayışı geliştirilmiştir. Batı kampüsünde eğitim yapılarının dağınık yerleşim biçimine sahiptir. Yapıların tasarımı; arazideki eğimi kullanan, araziye yayılan ve gelişmeye açıktır. Mimarlık bölümünün içinde yer aldığı Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi; dekanlık, bölümler, konferans salonu, açık amfiden oluşmaktadır.

Alan çalışmasında, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünde ergonomik değerlendirme ölçütleri uygulanmıştır (Şekil 6). Uygulama kapsamında yapının giriş kapısından başlayarak, eğitim mekanları olan stüdyolar, amfiler, akademisyen odaları, koridor, merdiven, rampa, ıslak hacimler incelenmiştir. İncelenen mekanlar; mekan oluşumları, mekan biçimlenişlerine, mekandaki şeffaf yüzey alanına, açıklık oranına göre tipolojilere ayrılmıştır (Şekil 7). Mimarlık eğitim stüdyoları mekan konumlanışına, mekandaki açıklık oranlarına ve saydam yüzey alanına göre üç tipten oluşmaktadır. Amfiler öğrenci kapasitesi ve mekan büyüklüğüne bağlı olarak üç farklı tiptedir. Akademisyen odaları, saydam yüzey alanı, açıklık oranlarına, pencere açılım biçimine göre iki tiptir.



Şekil 6. Yapıda çalışma yapılan alan

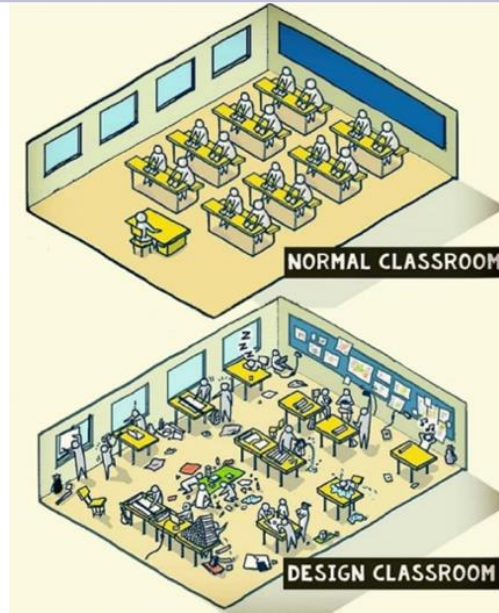


Şekil 7. Mekan tipleri

4.1 Mekânsal Konfor

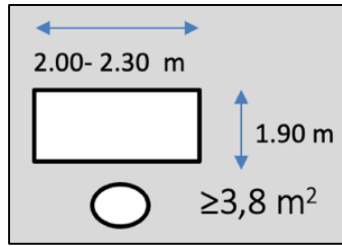
Stüdyolar:

Mimarlık bölümü, tasarım ve yaratıcılık içeren, öğrenciye farklı öğrenme etkinlikleri ile bu yetileri kazandırmaya yönelik müfredatın en büyük kısmını oluşturan, teorik ve uygulamalı olarak işlenen stüdyo (mimari tasarım) derslerinden oluşmaktadır. Mimarlık eğitiminde stüdyo dersleri, eğitimcilerin öğrencinin tasarladığı ürünü iki ve üç boyutlu değerlendirip yorumlaması ile yürütülmektedir. Stüdyolarda öğrenciler, el çizimi (eskiz), bilgisayar ortamında çizim, maket yapmaktadırlar. Stüdyolar, öğrenci-öğrenci, öğrenci- eğitimci, iletişiminin gerçekleştiği mekanlardır (Şekil 8). Mimarlık eğitiminde en çok vakit geçirilen mekan olan stüdyolar, bireysel çalışma, grup çalışma ihtiyaçlarını karşılayan esnek mekan olarak tasarlanmalıdır.



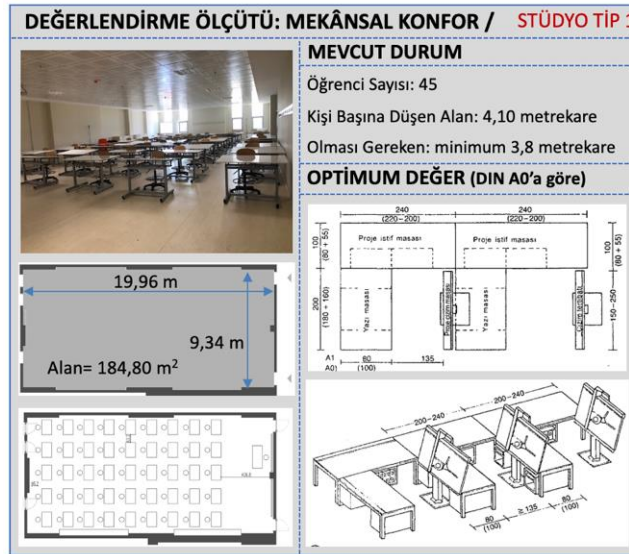
Şekil 8. Sınıf ve stüdyolar (Classroom, 2022)

Tasarım stüdyolarında çizim ve maket yapma işlemleri eş zamanlı olarak yürütüldüğünden, mekansal boyutları diğer bölümlerin sınıflarındaki kişi başına düşen mekansal boyutlardan daha fazladır. Neufert Yapı Tasarımına göre mimarlık stüdyolarında kişi başına minimum 3,8 metrekare alan düşmesi gereklidir (Şekil 9) (Neufert, 1983).



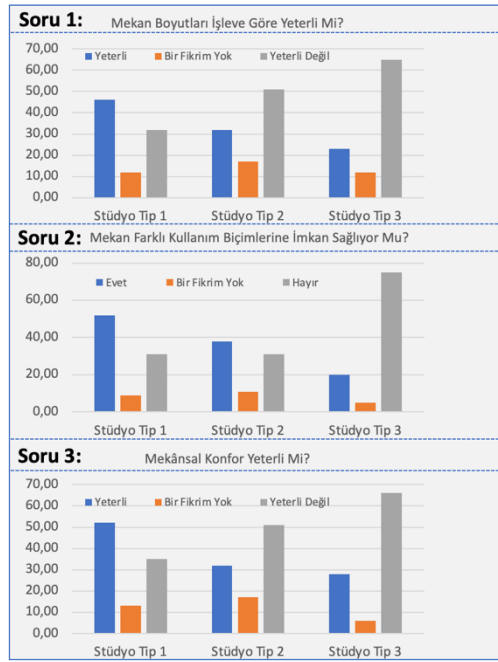
Şekil 9. Stüdyolarda gerekli alan

Mimarlık Bölümünde stüdyolar üç farklı tipolojiden oluşmaktadır. Stüdyo tip 1 (Şekil 10); Neufert yapı tasarım esaslarına göre, öğrenci başına düşen alan olarak asgari standartları sağlamaktadır.



Şekil 10. Stüdyo tip 1

Stüdyo tip 2 (Şekil 11); Neufert yapı tasarımındaki mimarlık stüdyolarındaki standartlara göre öğrenci başına düşen alanı sağlamamaktadır.

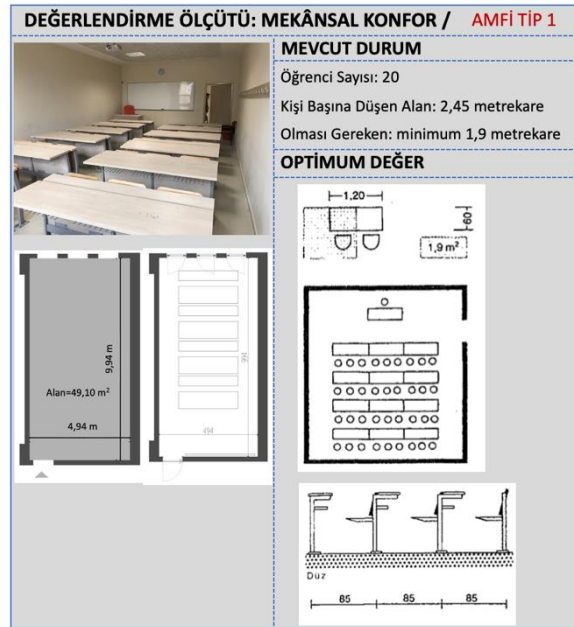


Şekil 13. Mekansal konfor koşullarının belirlenmesi-şüdyo

Amfiler:

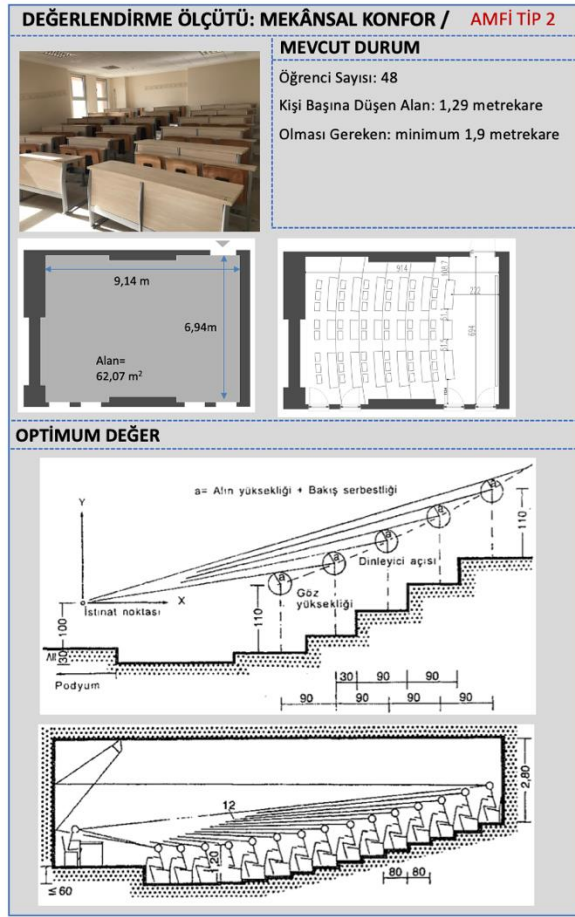
Seçmeli ve zorunlu teorik derslerin işlendiği eğitim mekanlarıdır. İncelenen mimarlık bölümünde öğrenci kapasitesine göre üç tip amfi bulunmaktadır. Bunlar; amfi tip 1 seminer odası şeklinde, amfi tip 2 (çoğunlukla öğrenci kontenjanının az olduğu, seçmeli derslerin işlendiği), amfi tip 3 öğrenci kontenjanının fazla olduğu zorunlu derslerin işlendiği) şeklindedir.

Neufert yapı tasarım standartlarına göre, teorik derslerin işlendiği amfilerde, kişi başına minimum 1,9 metrekare alan düşmesi gereklidir (Neufert, 1983).

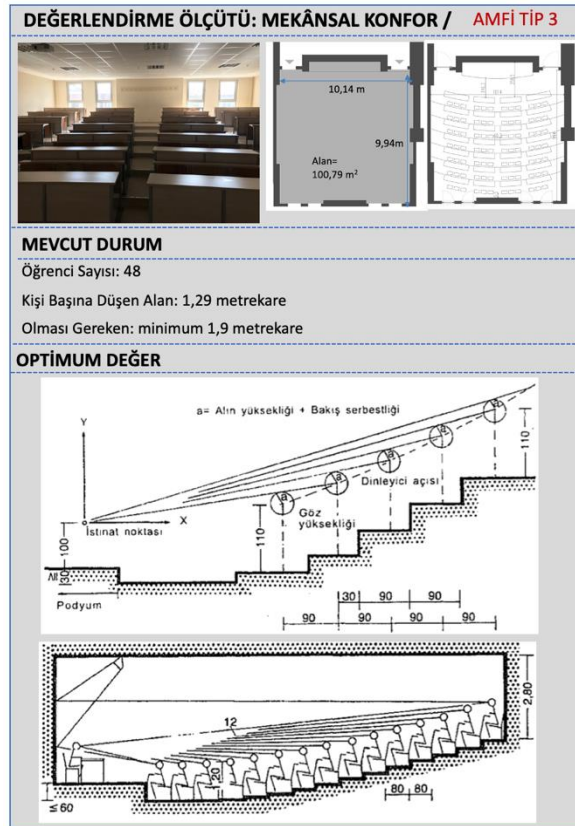


Şekil 14. Amfi tip 1

Amfi tip 1, öğrenci başına düşen alan olarak standartları sağlamaktadır (Şekil 14). Amfi tip 2 (Şekil 15), seçmeli teorik derslerin işlendiği eğitim mekanıdır. Seçmeli derslerde öğrenci sayısı daha az olduğundan mekansal boyut olarak da daha küçük daha fazla sayıda amfilere ihtiyaç duyulmaktadır. Amfi tip 2, öğrenci başına düşen alan olarak standartları sağlamamaktadır. Mekanın boyutları öğrenci kapasitesine göre yetersiz düzeydedir. Amfi tip 3 (Şekil 16), zorunlu teorik derslerin işlendiği mekandır. Zorunlu derslerde öğrenci sayısı daha fazla olduğundan mekan kapasitesi de büyüktür. Amfi tip 3, öğrenci başına düşen alan standartları karşılamamaktadır.



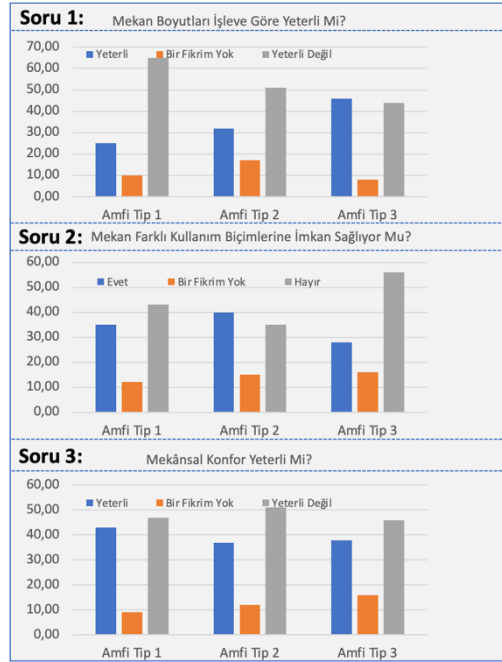
Şekil 15. Amfi tip 2



Şekil 16. Amfi tip 3

Kullanıcı görüşmelerinde; amfi tip 1 ve amfi tip 2'nin mekansal boyutlarının işleve uygun olmadığı, kullanıcılar bu mekanların tam kapasite kullanımında rahatsız olduklarını ifade etmişlerdir (Şekil 17). Amfi Tip 1 için

sıralara ulaşımında sirkülasyon alanının bırakılmadığını belirtmişlerdir. Amfi tip 3'ün boyutlarının yeterli olduğunu söylemişlerdir.



Şekil 17. Mekansal konfor koşullarının belirlenmesi amfi

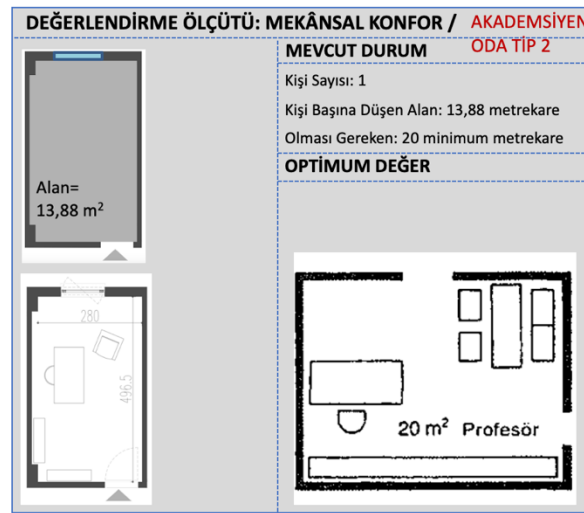
Akademisyen Odaları:

Mimarlık bölümünde akademisyen odaları bir koridor boyunca yan yana dizili olarak konumlanmaktadır. Koridorun iki tarafındaki odalar mekan boyutları, şeffaf yüzey alanı ve yön olarak farklı olup iki tip birim olarak sınıflanabilmektedir. Neufert yapı tasarım standartlarına göre eğitimci odası minimum 20 metrekare olarak tasarlanmalıdır (Neufert, 1983).

Akademisyen odası tip 1 (Şekil 18), mekansal boyutları ile standartları karşılamamaktadır. Akademisyenlerin ihtiyacı olan kitaplık, çalışma masası, misafir koltuğu, depolama gibi donatılar olup, bu donatıların kullanımı sırasındaki dinamik antropometrik boyutlar göz önünde bulundurulmadan mekan boyutlarına karar verilmiştir. Akademisyen odası tip 2, mekansal boyutları ile standartları karşılamamaktadır (Şekil 19).

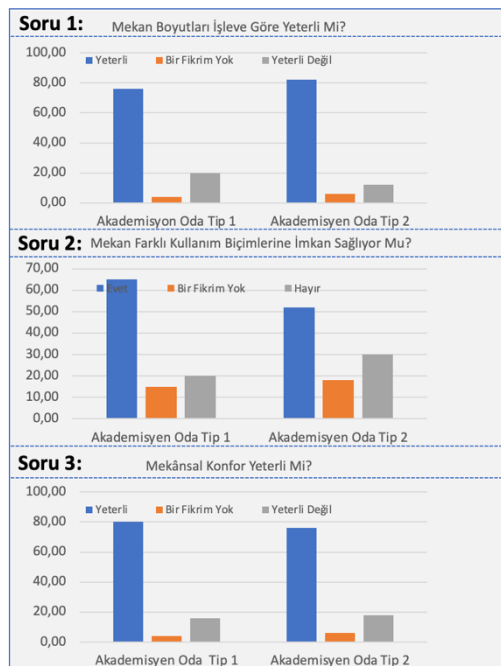


Şekil 18. Akademisyen odaları tip 1



Şekil 19. Akademisyen odaları tip 2

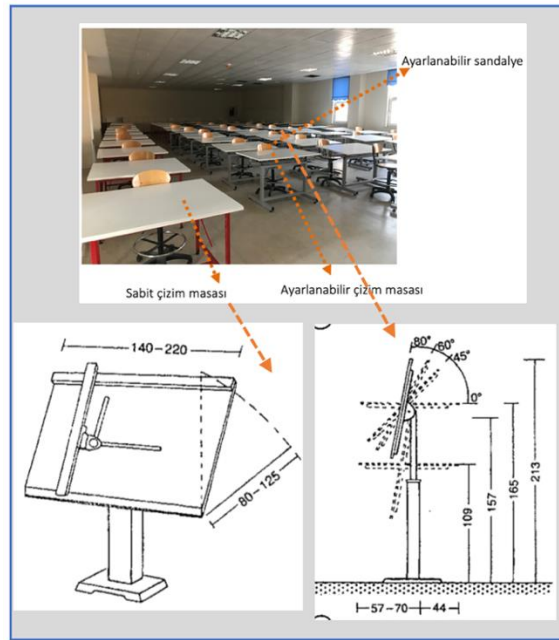
Kullanıcı görüşmelerinde; akademisyen odaları tip 1 ve tip 2'nin boyutlarının yeterli olduğunu kullanıcılar söylemişlerdir. Açık uçlu sorularda; çalışma masalarının, kitaplıklarının ve misafir sandalyesinin varlığını belirtip bu donatılar için mekan büyüklüğünün yeterli olduğunu ifade etmişlerdir. Odalarında farklı donatı düzenini uygulayabildiklerini eklemişlerdir (Şekil 20).



Şekil 20. Mekansal konfor koşullarının belirlenmesi akademisyen odaları

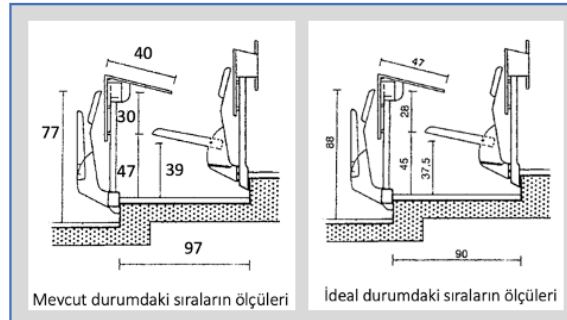
Donatılar:

Mimarlık bölümlerinde stüdyolar, 7/24 aktif kullanılan mekanlardır. Öğrencilerin eğitim dönemlerinin çoğunluğu, bu mekanlarda geçtiği için stüdyolarda kullanılan donatılar önemli bir yer tutmaktadır. Stüdyoda kullanılan sandalyeler boyu ayarlanabilir beli desteklidir. Öğrencilerin rahat kullanıma uygun, olmasından ötürü sağlık sorunlarının oluşum riskini azaltmaktadır. Stüdyolarda iki farklı çizim masası kullanılmaktadır. Hareketli ve sabit çizim masaları aynı mekan içinde bir arada veya ayrı bulunmaktadır (Şekil 21). Ayarlanabilir çizim masalarının bakım ve onarımları yapılmadığından, hareket yetenekleri azalmıştır. Yapılan gözlemlerde, öğrencilerin ayarlanabilir çizim masalarını istedikleri eğim ve yüksekliğe göre ayarlama yapamadıkları görülmüştür. Ayrıca ayarlanabilir çizim masalarının ağırlığı fazla olduğundan, mekanın esnek kullanımı için hareket ettirilmesinde sorun yaşanmaktadır.

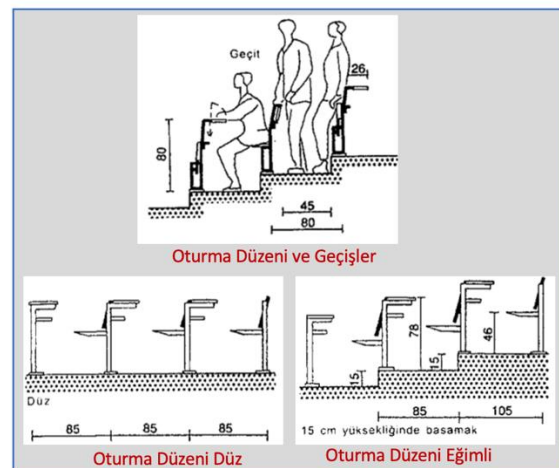


Şekil 21. Stüdyodaki masa ve sandalye

Amfiler birçok öğrencinin bir arada bulunduğu teorik eğitimlerin yapıldığı mekanlar olması nedeniyle donatıların konforlu olması verimi etkileyecektir. Oturma yerlerinin dizi sayısı, diziler arasındaki kot farkı, ara geçiş mesafeleri, sandalye ve masaların boyutları ergonomik konfor koşullarını sağlayacak nitelikte olmalıdır. Amfilerde oturma düzenleri sabittir. Sıra ve masaların mevcut ve ideal durumdaki boyutları Şekil 22’de gösterilmiştir. Bazı ölçüler yeterli boyutta olmayıp bazı ölçüler olması gerekenden fazladır. Amfilerde kullanılan sıra ve masaların birbirleri arasındaki ölçüler; amfinin düz ve eğimli olmasına bağlıdır (Şekil 23).



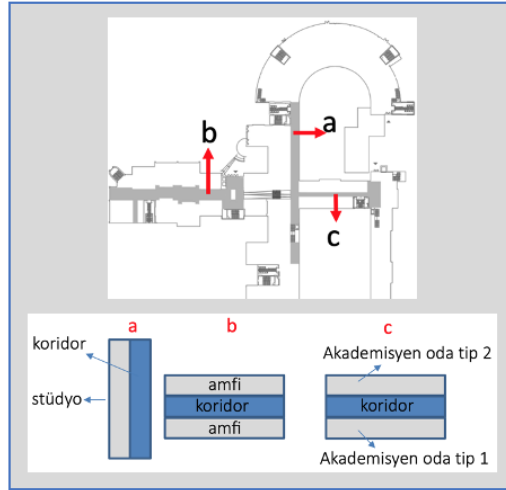
Şekil 22. Mevcut ve ideal durumdaki sıraların ölçüleri



Şekil 23. Donatı elemanları düzenleri ve optimum ölçüler

Koridor:

Yapının plan şeması incelendiğinde mimarlık bölümünün kullandığı üç farklı tip koridor bulunmaktadır (Şekil 24).



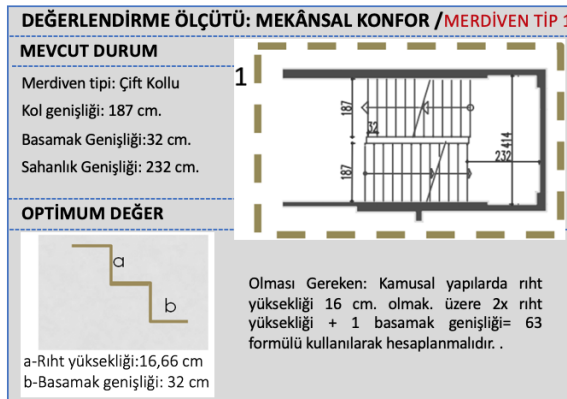
Şekil 24. Koridor tipleri ve mekan biçimleri

Plan şemasındaki A tipi koridorda, koridorun bir tarafında stüdyolar bulunmaktadır. Standartlarda ‘‘bir tarafı derslik olan koridorlarda koridor genişliği en az 2.50 m. olmalıdır’’ şeklindedir. TS 9111 standartlarına göre de tekerlekli sandalye kullanan kişi ile normal yürüyebilen bir kişinin yan yana geçebilmesi için gerekli uzunluk 122 cm. dir. A tipi koridorun boyutu 3,8 metredir. A tipi koridor standartları karşılamaktadır. Plan şemasına göre B tipi koridorda, koridorun her iki tarafında amfiler bulunmaktadır. Koridorun genişliği 4,94 cm. olarak ölçülmüştür. Standartlar, ‘‘iki tarafı derslik olan koridorlarda koridor genişliği en az 3.00 m. olmalıdır’’ şeklindedir. TS9111 ‘e göre de bedensel engelli birey ile sağlıklı bir insanın yan yana geçiş mesafesi 122 cm. dir. B tipi koridor standartları sağlamaktadır. C tipi koridor, plan şemasına göre akademisyen odalarının iki taraflı sıralanması ile oluşmuştur. C tipi koridorun kullanıcı yoğunluğu daha azdır. C tipi koridorun genişliği 194 cm. olarak ölçülmüştür.

Merdiven:

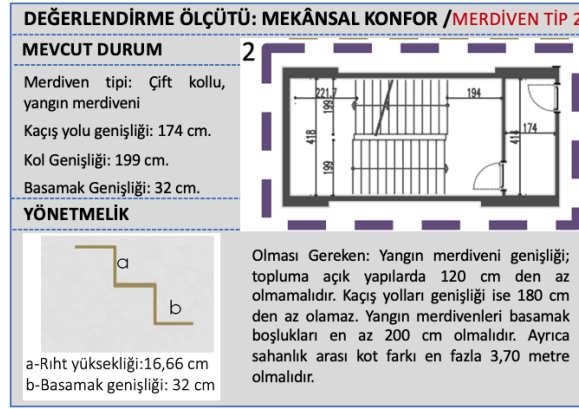
Mimarlık bölümünün plan şemasına bakıldığında, üç farklı tipolojide düşey sirkülasyonu sağlamak için sekiz adet merdiven mevcuttur.

Merdivenler TS 9111 standartlarına uygun olmalı ve merdiven yüzey malzemesi pürüzlü, kaymayı önleyecek şekilde seçilmelidir (TS9111, 2011). Basamakların uç kısımlarında 2,5 cm. kalınlığında bir şerit bulunmalıdır. Bu şerit, basamak yüzeyi ile aynı seviyede düz olmalı ve koruyucu, kaymaz malzeme olup takılıp düşmeyi engellemelidir (TS 12576, 2012). Basamaklarda dikkati çekecek renk ve doku kullanımından kaçınılmalıdır. Merdivenlerin başlangıç ve bitişlerinde 120 cm. boyutundaki alan, duyumsanabilir yüzey ile işaretlenmelidir. Merdivenin 180 cm, kot çıkmasından sonra en az 200 cm. uzunluğunda sahanlık tasarlanmalıdır. Merdiven tip 1, olması gereken boyutları karşılamaktadır (Şekil 25.). Ama merdivende duyumsanabilir yüzeyler yoktur.

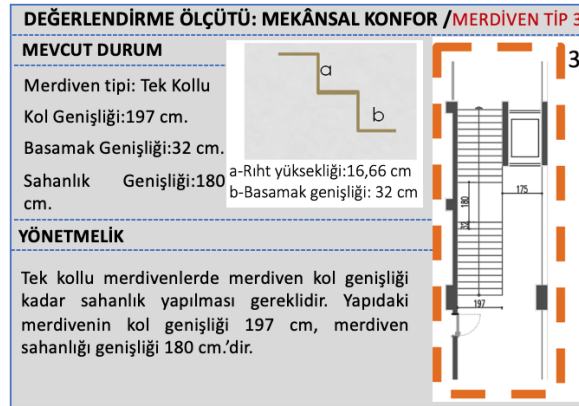


Şekil 25. Merdiven tip 1

Binaların yangından korunması hakkındaki yönetmeliğe göre; basamak genişlikleri 28 cm.'den az ve riht yüksekliği 18 cm.'den fazla olamaz (Binaların Yangından Korunması, 2009) 1 ile 50 arasında insanın bulunduğu yerde merdiven genişliği 80 cm.; 111 ile 170 arasında insanın bulunduğu yerde 100 cm., 241 ile 260 arasında insanın bulunduğu yerde 130 cm., 281 ile 300 insanın bulunduğu yerde 150 cm. olmalıdır. Yangın merdivenin her iki kenarına küpeşte ve korkuluk yapılmalıdır. Yapıdaki yangın merdiveninin (merdiven tip 2) kaçış yolu genişliği standartlara uymamaktadır. Ayrıca yangın merdiveninde korkuluk ve küpeşte tasarlanmamıştır (Şekil 26). Merdiven tip 3 de standartlara uymamaktadır (Şekil 27).



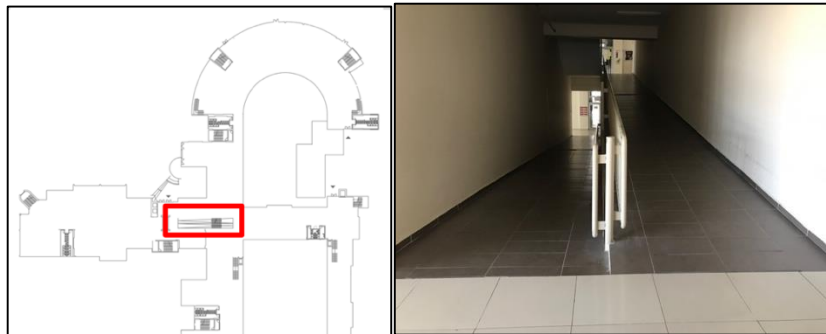
Şekil 26. Merdiven tip 2



Şekil 27. Merdiven tip 3

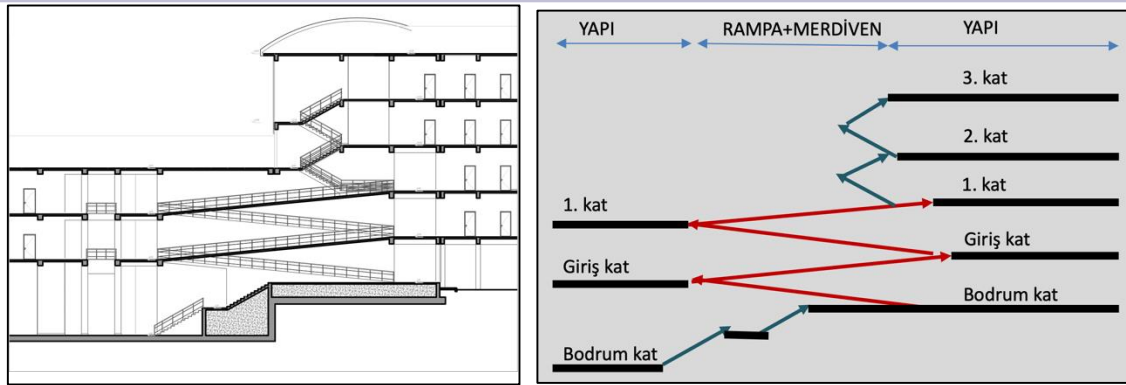
Rampa:

Mimarlık bölümü yapısında bir adet rampa bulunmaktadır (Şekil 28).



Şekil 28. Rampanın Konumu

Mimarlık bölümü yapısı form itibari ile iki farklı geometriden oluşmaktadır. Bu iki farklı geometrik form da arazinin eğimli olmasından dolayı farklı kotlara oturmaktadır. Yapının girişi ile amfiler aynı yapı bloğu içerisinde yer alırken; stüdyolar ve akademisyen odaları farklı yapı bloğunda bulunmaktadır. Bu iki yapı bloğu rampa sistemi ile bağlanmaktadır (Şekil 29). Yapıdaki rampa kullanımında süreklilik yoktur. Birinci kattan sonra rampanın üzerinde merdiven tasarlanmış, birinci kat ve ikinci kat arasındaki erişim merdiven ile sağlanmaktadır. Aynı durum bodrum kattan giriş kata erişimde de geçerlidir. Erişimde süreklilik yoktur (Şekil 29).

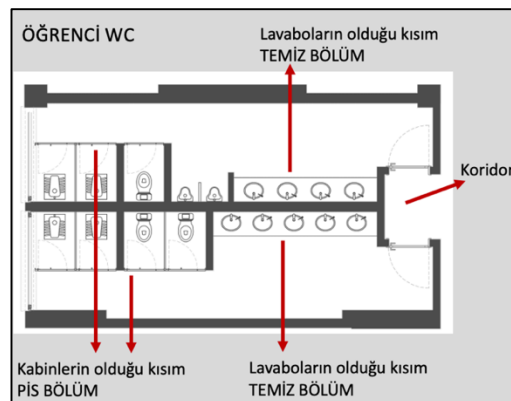


Şekil 29. İki yapı bloğunu bağlayan rampa ve rampanın süreksizliği

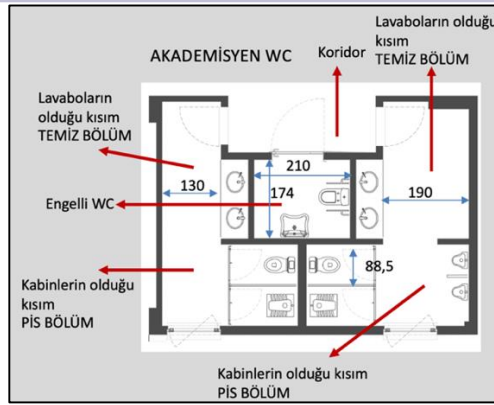
Rampanın kol genişliği 192 cm., eğimi %9,25, uzunluğu 2160 cm.'dir. Kamusal mekanlarda bedensel engeli olan kullanıcılar için rampa tasarımı zorunludur. Rampaların eğimi rampayı kullanan tekerlekli sandalyedeki kişilerin güvenliği ve yardım almadan zorlanmadan kullanımı açısından önemlidir. TS 9111 göre; rampa eğimi %5 olarak tasarlanmalıdır. Rampaların güvenli ve rahat kullanımı için uzun boyutlu rampa tasarımından kaçınılmalı ve 9 metreyi geçen rampa uzunluklarında sahanlık yapılmalıdır. Rampa boyu 10 metreden uzunsa rampa eğimi maksimum %6 olmalıdır (TS 9111). Rampanın her iki yanında korkuluk ve küpeşte bulunmalıdır (Kavak, 2010, 101). Rampa aynı doğrultuda devam ediyorsa, sahanlık genişliği rampa genişliği ile aynı ve en az 150 cm. olmalıdır (Ergenoğlu, 2013). Rampaların başlangıç ve bitişlerinde tekerlekli sandalyenin manevra yapabileceği sahanlık bırakılmalıdır. Rampanın yüzey kaplama malzemesi, tekerlekli sandalye kullanıcısının takılmasına sebep olmamalı ve sürtünmeyi sıfıra indiren kaygan malzeme seçilmemelidir. Yapıdaki rampanın uzunluğu 21,6 metredir. Rampa boyunun 9 metreyi geçmesinden dolayı sahanlık yapılması gereklidir. Rampada sahanlık yapılmamıştır. Rampa uzunluğunun 10 metreyi geçtiğinde rampa eğimi maksimum %6 olması gerekirken, yapıdaki rampanın boyu 21,6 metre eğimi %9,25 'tir. Rampanın eğimi tehlike yaratabilecek bir durumdadır. Kullanıcılar rampanın eğiminden kaynaklı düşme tehlikesi yaşadıklarını ve rampanın döşeme malzemesinin kaygan olması nedeniyle kış aylarında kayma riski oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Islak Hacimler:

Mimarlık bölümü yapısında ıslak hacimler; öğrenci tuvaletleri ve akademisyen tuvaletleri olarak kullanıcılara göre ayrılmıştır. Öğrenci tuvaletlerinde kabinler alaturka ve alafranga şeklindedir. Islak hacimde lavaboların bulunduğu temiz bölüm ile kabinlerin bulunduğu kirli bölümün ayrılması uygun bir düzenlemedir (Şekil 30). Kabin büyüklükleri 88cm. x 150 cm.'dir. Kabin kapıları içeri açılmaktadır. Kullanıcı kabine rahat bir şekilde girmektedir. Öğrenci tuvaletlerinde fiziksel engelliler için özel bir tuvalet veya ayrı bir kabin tasarlanmamıştır. Akademisyen tuvaletlerinde bir adet alaturka bir adet alafranga kabin bulunmaktadır. Her bölümün tuvaletleri ayrı olarak tasarlanmıştır. Kadın akademisyenlerde her dört kişiye bir kabin, erkek akademisyenlerde her iki kişiye bir kabin düşmektedir. Tuvaletlerde temiz-kirli bölüm ayrımı vardır (Şekil 31). Akademisyen tuvaletlerinde fiziksel engelli kullanıcılar için özel bir tuvalet mevcuttur ama bu tuvalet aktif halde değil, temizlik malzemelerinin deposu şeklinde kullanılmaktadır. Yapı denetim uygulama yönetmeliğine göre erişilebilir engelli tuvaletinin boyutları 150 cm. X 220 cm. olması gereklidir. Engelli tuvaleti gerekli şartları sağlamamaktadır.



Şekil 30. Öğrenci tuvaletleri



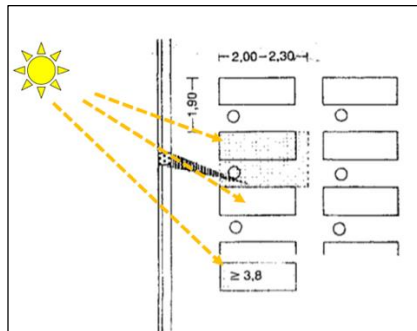
Şekil 31. Akademisyen tuvaletleri

4.2 Görsel Konfor

Görsel konforun yapıda değerlendirirken teknik aletlerle ölçüm yapılmamıştır. Değerlendirme; mekanların aydınlatma biçimine, pencerelerin konumlarına ve büyüklüklerine, aydınlatma elemanlarının konum ve büyüklükleri, sayıları, yapı içerisinde renk-doku kullanımı, güneş kontrolü üzerinden yapılmıştır.

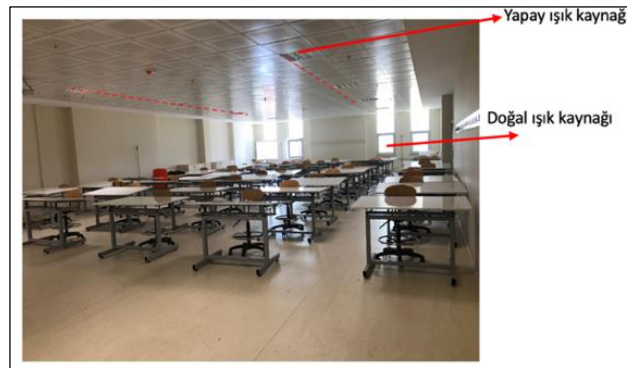
Stüdyo:

Mimarlık bölümünde stüdyoların aydınlatması büyük önem arz etmektedir. Eğitim yapılarının aydınlatma türü olarak doğal aydınlatma temel alınmaktadır. Doğal aydınlatmayı görsel konfor koşullarına göre kullanmak ve yapay aydınlatmalardan minimum yararlanmak için mekanlardaki şeffaf yüzey alanı, açıklık oranları, pencere boyutları ve pencere açılış biçimleri doğru tasarlanması gerekir. Neufert yapı tasarımı standartlarına göre stüdyolarda çizim ve maketler yapıldığından gün ışığı sol taraftan gelmelidir (Şekil 32) (Neufert, 1983). Mekanda ışık homojen bulunmalıdır.



Şekil 32. Mekana ışığın doğru gelmesi ((Neufert, 1983) 'ten uyarlayan Yazar)

Stüdyo Tip 1'de doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma birlikte kullanılmaktadır (Şekil 33). Çizim stüdyolarında doğal ışık soldan gelmelidir. Stüdyo tip 1'de ışık arkadan gelmektedir. Ön taraftaki sıralara doğal gün ışığı ulaşamamakta, stüdyolardaki gün ışığı yeterli düzeyde değildir. Stüdyodaki pencereler açılır kanat şeklindedir. Stüdyoda yapay ışık kaynağı olarak floresan lambalar bulunmaktadır.



Şekil 33. Stüdyo tip 1 aydınlatma biçimleri

Stüdyo tip 2'de gün ışığı soldan gelmektedir. Mekandaki açıklık oranı $\frac{1}{2}$ şeklindedir. Pencereler buldukları yüzeyin yarı uzunluğuna kadar gelmektedir ve mekanda karanlık alan oluşumu fazladır. Stüdyoda yapay ışık

kaynağı olan floresan lambalar bulunmaktadır. Stüdyodaki pencerelerden gelen gün ışığı tahta yüzeyine ve sunum perdesine yansıma yapmaktadır. Güneş kontrolü olarak stüdyoda perde kullanılmıştır (Şekil 34).



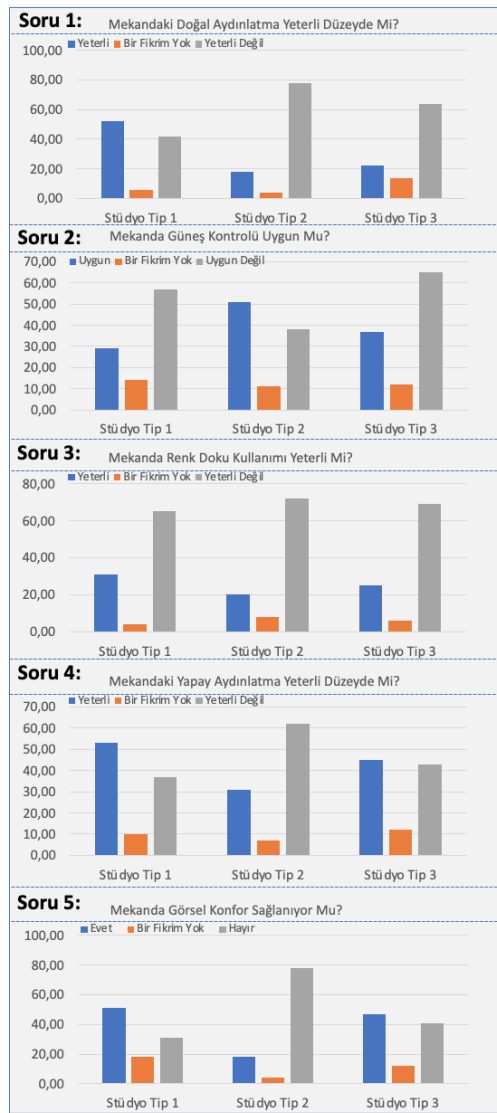
Şekil 34. Stüdyo tip 2 karanlık alanlar

Stüdyo tip 3'e, doğal aydınlatma, yapay aydınlatma ve dolaylı aydınlatma ile mekana ışık gelmektedir. Stüdyonun giriş kapısı ve giriş kapısının bulunduğu yüzeyin yarısı cam malzemeden oluşmaktadır. Böylece koridordaki ışığın bir kısmı dolaylı olarak stüdyoya gelmektedir. Stüdyoya doğal gün ışığı soldan gelmektedir ama stüdyodaki açıklık oranı yeterli değildir. Stüdyonun ön tarafında tahtanın bulunduğu bölgede karanlık alanlar oluşmaktadır (Şekil 35).



Şekil 35. Stüdyo tip 3 aydınlatma biçimleri

Kullanıcı görüşmelerinde stüdyo tip 1'in doğal aydınlatmasının yeterli olduğu, stüdyo tip 2 ve tip 3'ün yetersiz olduğu belirtilmiştir. Kullanıcılar stüdyo tip 2'nin doğal aydınlatmasının yetersizliğini mekanın konumuna bağlı olduğunu söylemişlerdir. Stüdyo Tip 2'de güneş kontrolü için perde kullanımının olduğunu, diğer stüdyolarda güneş kontrolünün yapılmadığını belirtmişlerdir. Stüdyolarda renk ve doku kullanımının olmadığını, mekanların mimarlık bölümünü yansıtmadığını belirtmişlerdir. Stüdyo tip 1'de yapay aydınlatmanın yeterli olduğunu ve yapay aydınlatma elemanlarının mekan içinde dengeli konumlandırıldıklarını ifade etmişlerdir. Stüdyo tip 2 ve tip 3'te yapay aydınlatma elemanlarının mekanda dengeli konumlanmadığını, aydınlatma elemanlarının bakım-tamir işlerinin yapılmadığından tümünün çalışmadığını, mekanda homojen ışık dağılımı olmadığını vurgulamışlardır (Şekil 36).



Şekil 36. Görsel konfor koşullarının belirlenmesi-stüdyolar

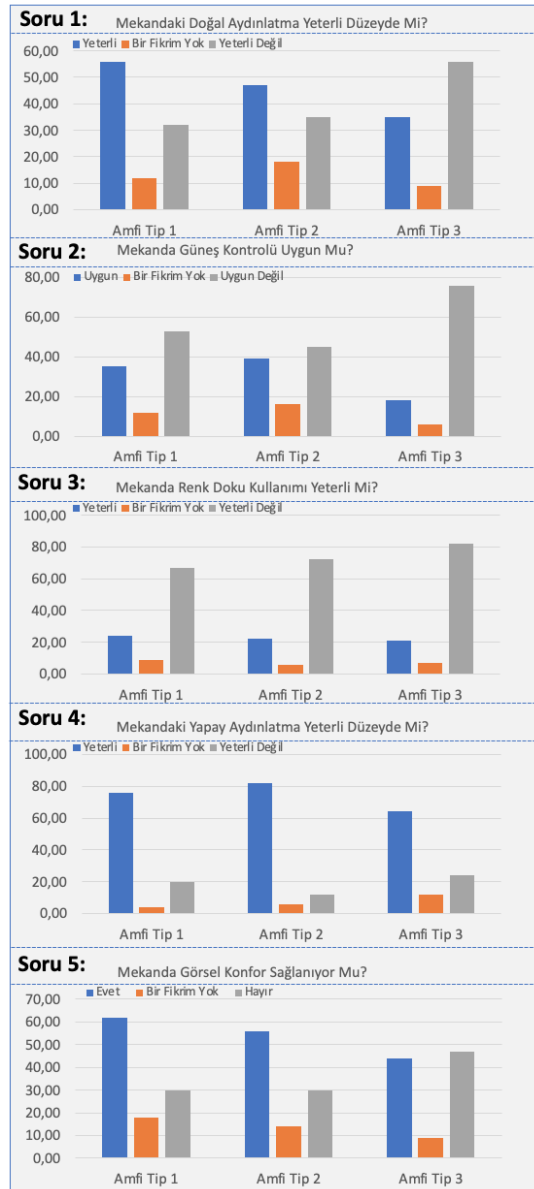
Amfi:

Amfilerde doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma bir arada kullanılmaktadır. Güneş ışığı amfiye arkadan gelmektedir. Amfideki pencereler açılır kanat şeklindedir. Amfilerde güneş ışığının sıraların arkasından gelmesi masa yüzeylerinde yansımalara ve tahtayı net görememeye neden olmaktadır. Amfilerde güneş kontrolü için herhangi bir önlem alınmamıştır (Şekil 37).



Şekil 37. Amfilerde doğal ışık

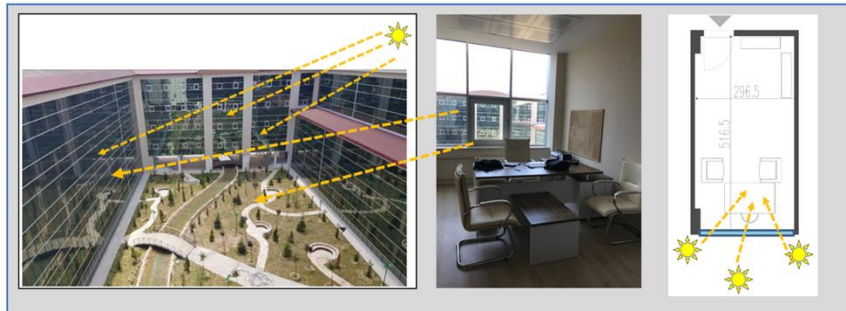
Kullanıcı görüşlerinde amfi tip 1 ve tip 2'nin doğal aydınlatma düzeyinin yeterli olduğu, tip 3'ün yetersiz olduğu görülmüştür. Tüm amfilerde güneş kontrolü için herhangi bir detay çözümünün olmadığı belirtilmiştir. Kullanıcılar yaz aylarında güneşin tahtayı-sunumu görmeye olumsuz etkilediğini vurgulamışlardır. Tüm amfilerde yapay aydınlatma düzeninin yeterli olduğunu, mekana ışığın homojen yayıldığını söylemişlerdir. Genel olarak tüm amfilerde görsel konforun sağlandığını ifade etmişlerdir (Şekil 38).



Şekil 38. Görsel konfor koşullarının belirlenmesi- amfiler

Akademisyen Odaları:

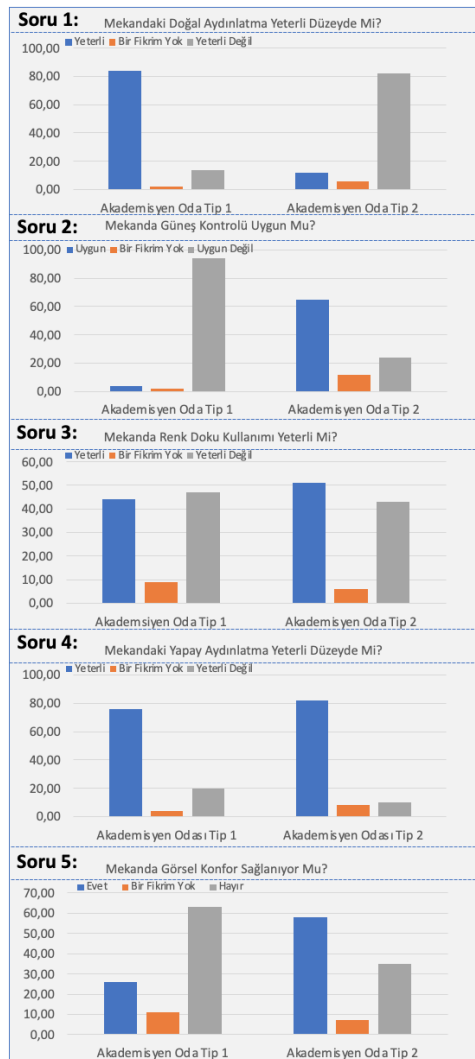
Mimarlık bölümünde akademisyen odaları tip 1'in şeffaf yüzey oranı fazladır. Odanın bir cephesinin tüm yüzeyi pencereden oluşmaktadır. Altı kanattan oluşan pencere yüzeyinden biri açılır kanattır. Oda içerisinde aydınlık seviyesi fazladır. Yapay aydınlatma gün içerisinde kullanılmamaktadır. Yaz günlerinde oda içerisinde gün ışığından korunma ihtiyacı doğmaktadır. Yapıda güneş kontrolünü sağlayacak, güneş kırıcısı tasarımı mevcut değildir (Şekil 39).



Şekil 39. Akademisyen odası tip 1 ve görsel konfor

Kullanıcı görüşmelerinde; akademisyen odası tip 1'in doğal aydınlatma düzeyinin yeterli olduğu, tip 2'nin yetersiz olduğu görülmüştür. Tip 2'nin doğal aydınlatmasının yetersiz olmasına; pencere boyutları ve açılımı ile

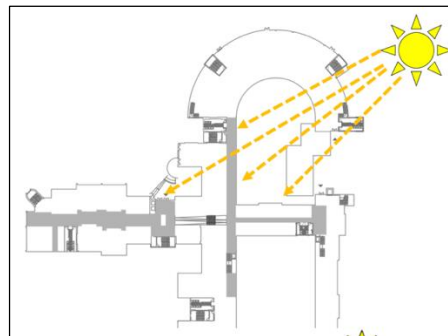
odaların konumunun yanlış olması belirtilmiştir. Her iki oda tipinde yapay aydınlatma düzeyinin yeterli olduğu görülmüştür. İki oda tipinde renk ve doku kullanımının olmadığı tespit edilmiştir. Kullanıcılar bu durumu olumlu yorumlayıp; çalışma sırasında mekanın rahatsız edici olmadığını, konsantrasyonu sağladığını söylemişlerdir. Akademisyen odası tip 1’de güneş kontrolünün olmadığı vurgulanıp; bu durumun yaz ve kış mevsimlerinde rahatsız edici olduğu; bilgisayar başında çalışırken ekranda yansımanın oluştuğu belirtilmiştir (Şekil 40).



Şekil 40. GörSEL konfor koşullarının belirlenmesi-akademisyen odaları

Koridor:

Mimarlık bölümündeki üç koridor tipinden tip a, tip b doğal gün ışığından yararlanırken, tip c yapay aydınlatma elemanı olarak floresan lambalardan yararlanmaktadır (Şekil 41.).



Şekil 41. Koridor tiplerine güneş ışığının gelişi

Koridor tip a'nın bir yüzeyi stüdyolarla çevrili iken diğer yüzeyinde koridor uzunluğu boyunca cam giydirme cephe vardır. Giydirme cephede pencereler açılmaz kanattan oluşmaktadır. Koridor tip a ise sadece bir

yüzeyinden güneş ışığı alabilmektedir. Koridor tip a yapay aydınlatmadan yararlanmaktadır. Kullanıcı görüşmelerinde; tüm koridor cephesinin saydam yüzeyden oluşmasından, güneş kontrolünün yapılmamasından rahatsız olduğu belirtilmiştir (Şekil 42.).



Şekil 42. Koridor tip a'ya güneş ışığının gelişi

Koridor tip b'nin plan şemasında galeri boşluğu tasarlanmıştır (Şekil 43). Galeriy boşluğu, sadece giriş katta bulunup bodrum katın aydınlatmasına yardımcı olmaktadır. Galeriy boşluğunun çatı hizasına kadar çıkmaması nedeniyle güneş ışığından tüm katlar boyunca yararlanılmamaktadır.

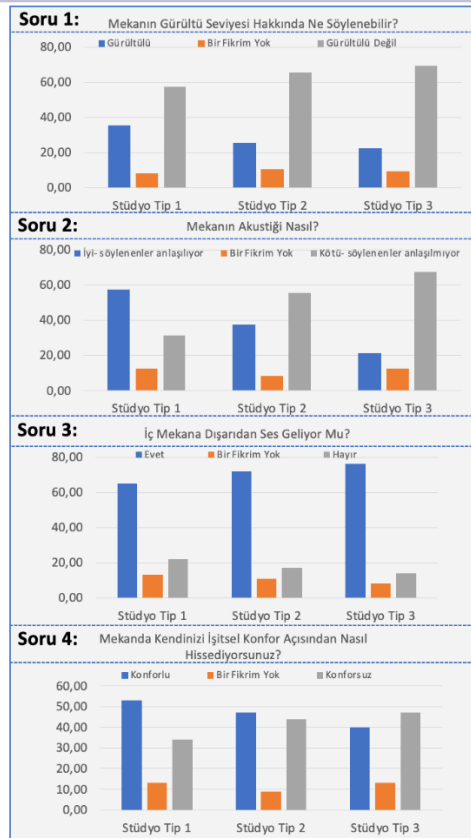


Şekil 43. Koridor tip b ve galeriy boşluğu

4.3 İşitsel Konfor

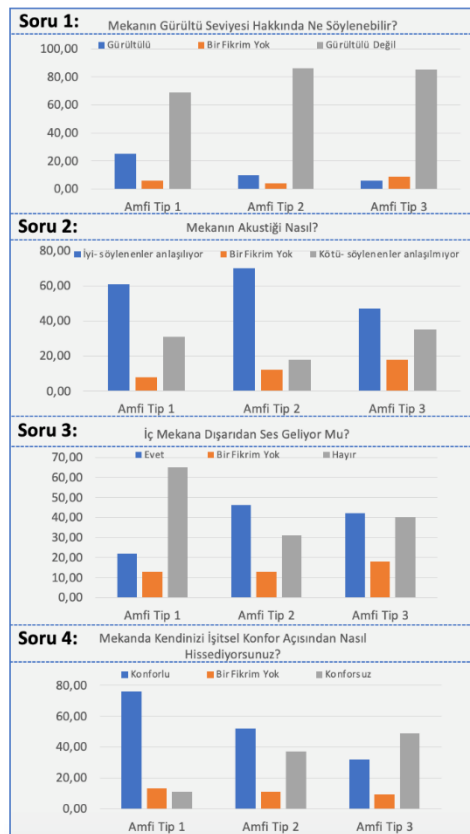
Mimarlık bölümünde işitsel konforun değerlendirilmesi için gürültü düzeyi ölçümü akıllı telefonlarda bulunan uygulama ile yapılmıştır. Stüdyolarda yapılan gürültü düzeyi ölçümlerinde gürültü düzeyi 65 dB çıkmıştır. Stüdyolarda gürültü düzeyi kabul edilebilir düzeydedir. Stüdyolar bireysel olarak ders çalışıldığı, maket yapıldığı, grup çalışmalarının olduğu, eğitimcilerden kritik alındığı mekanlar olduğu göz önünde tutularsa 65 dB gürültü düzeyi normal karşılanmaktadır. Mekan kullanıcıları ile yapılan görüşmelerde, kullanıcılar bu gürültü düzeyinden şikayet etmemişlerdir. Stüdyolarda akustik kontrol ve gürültü önleyici önlemler alınmamıştır. Amfilerde yapılan ölçümlerde gürültü düzeyi 55 dB çıkmıştır. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinde, dersliklerde 35 dB, gürültü düzeyi sınırdır. Amfilerdeki gürültü düzeyi kabul edilebilir düzeydedir. Belirtilen 35 dB gürültü düzeyi ülkemiz için oldukça düşük bir düzeydir. Koridorlarda ders zamanında 60 dB gürültü düzeyi ölçülmüş, öğle tatili zamanında gürültü düzeyi 80 dB'e çıkmıştır.

İşitsel konforun yerinde incelenmesi ve ölçülmesi sırasında, gürültü düzeyleri gözlemcinin işitsel konfor eşikini aşmamıştır. Kullanıcı görüşmelerinde tüm stüdyo tiplerinde gürültü seviyesinin fazla olmadığı belirtilmiştir. Tasarım sınıflarında; işleve göre gürültü seviyesinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu, kullanıcılar belirtmiştir. Stüdyo Tip 1'in mekan akustiğinin iyi olduğunu, söylenenlerin anlaşılır olduğunu ifade etmişlerdir. Stüdyo tip 2 ve tip 3'te mekan akustiğinin kötü olduğunu ders sırasında söylenenlerin anlaşılmadığını vurgulamışlardır. Tüm stüdyolarda mekan akustiği için bir tasarımın yapılmadığını, malzeme seçiminde dikkat edilmediğini ifade etmişlerdir. Tüm stüdyolara dışarıdan ses geldiğini eklemişlerdir (Şekil 44).



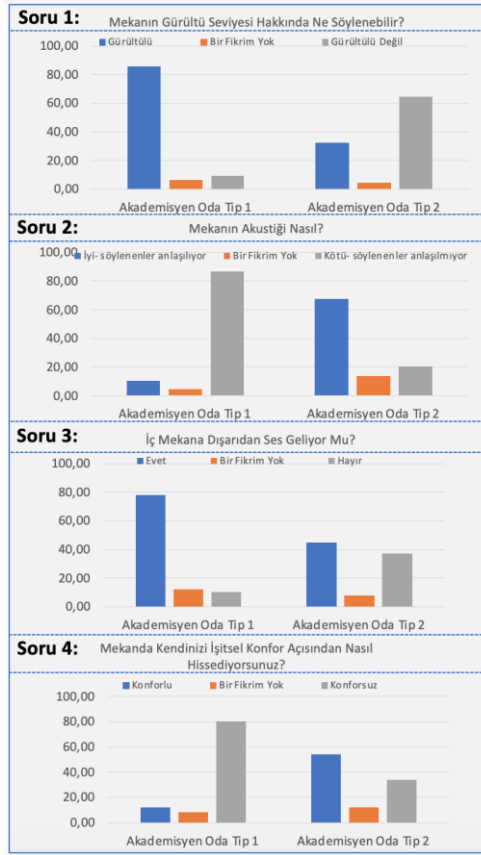
Şekil 44. İşitsel konfor koşullarının belirlenmesi- stüdyolar

Kullanıcılar amfilerin işitsel konforu ile ilgili; mekanların gürültülü olmadığını, mekanların akustiğinin iyi olduğunu, söylenenlerin anlaşıldığını belirtmişlerdir. Amfi tip 2 ve tip 3 için kullanıcılar, mekana dışarıdan ses geldiğini söylemişlerdir. İşitsel konfor açısından amfi tip 1'in konforlu olduğunu vurgulamışlardır. Bu durumu da amfi tip 1'in plan şemasındaki konumuna ve mekanın kapasitesinin az olmasına bağlamışlardır (Şekil 45).



Şekil 45. İşitsel konfor koşullarının belirlenmesi- amfiler

Kullanıcı görüşleri; akademisyen odası tip 1’de mekanın gürültülü olduğu, tip 2’de gürültülü olmadığı şeklindedir. Tip 1’in gürültülü olmasının sebeplerini; iki mekan arasında olması ve bu mekanlar arasında uygulama detayları tasarımındaki hatalar, malzeme seçimi şeklinde yorumlamışlardır. Tip 1’e iç ve dış mekandan daha fazla ses geldiğini; çalışma için uygun ortam koşullarının oluşmadığını belirtmişlerdir. Tip 2’de mekanın işitsel konforunun iyi olduğu rahatsız edici olmadığı ifade edilmiştir (Şekil 46).

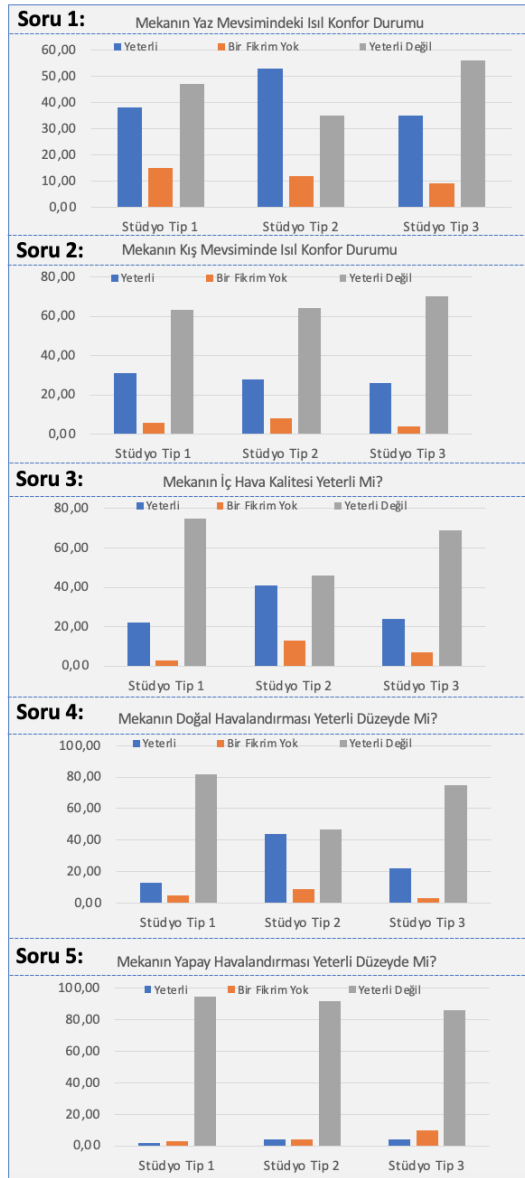


Şekil 46. İşitsel konfor koşullarının belirlenmesi- akademisyen odaları

4.4 Termal Konfor

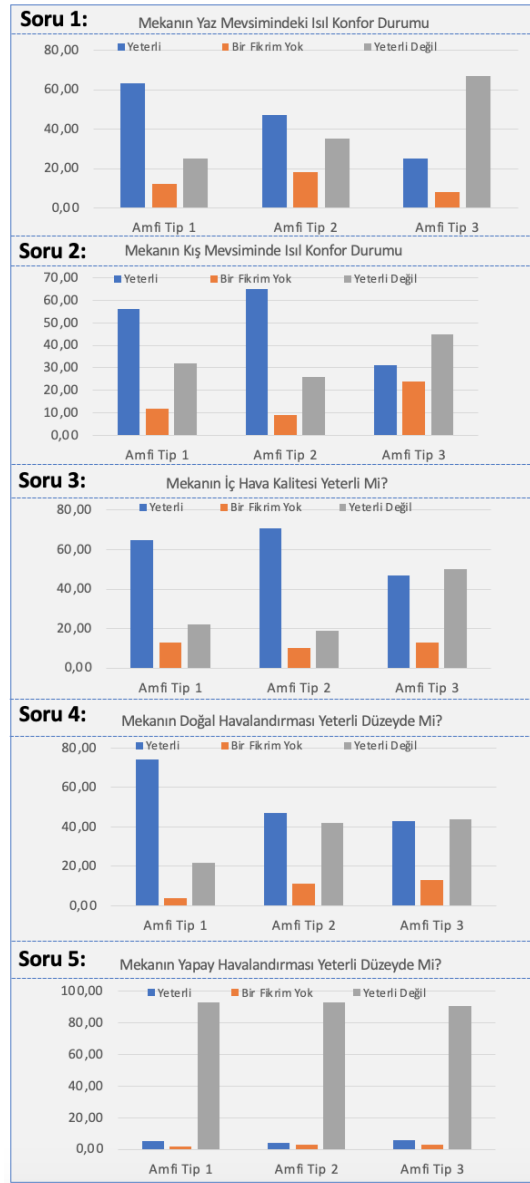
Amfilerde yapılan ölçümlerde amfi ısısının 20 derece olduğu saptanmıştır. Amfilerin ısısının 18 derece olduğu durumlar ideal ortam olarak nitelendirilir. Isısal konfor olarak Türkiye’de yüksek dereceler kabul edilmektedir. İnceleme günü dışarıda hava sıcaklığı 10 derecedir. İnceleme sırasında amfilerin ısısı normal bulunmuştur. Amfilerde doğal havalandırma mevcuttur. Stüdyolar 14 derecedir. Mekansal büyüklüklerine göre stüdyodaki kalorifer sayısı ve uzunluğu yetersizdir. Stüdyolarda doğal havalandırma yer almaktadır. Yapı içerisinde yapay havalandırma sistemi bulunmamaktadır. Akademisyen odaları tip 2’de pencere boyutu ve açılış biçimi, mekanın havalandırmasında yeterli değildir. Ayrıca odalar hakim rüzgar yönünde yer almakta ve oda içerisindeki kalorifer odayı ısıtmaya yetmemektedir.

Kullanıcı görüşmelerinde; stüdyo tip 2’nin yaz mevsiminde ısısal konfor durumunun yeterli olduğu bu duruma da mekanda kullanılan güneşi yansıtan perdelerin sebep olduğu görülmüştür (Şekil 47). Tüm stüdyo tiplerinin kış mevsiminde ısısal konfor durumunun yetersiz olduğu belirtilmiştir. Mekanlardaki kalorifer sayısının yetersiz olduğunu, mekanlarda mont giyerek oturduklarını kullanıcılar belirtmişlerdir. Mekanların doğal havalandırmasının yeterli düzeyde olmasına; pencere açılımları, pencere boyutları ve pencerelerin yapıdaki konumlarının neden olduğunu ifade etmişlerdir. Tüm bu havalandırma koşullarına bağlı olarak mekanın iç hava kalitesinin yeterli olmadığını vurgulamışlardır.



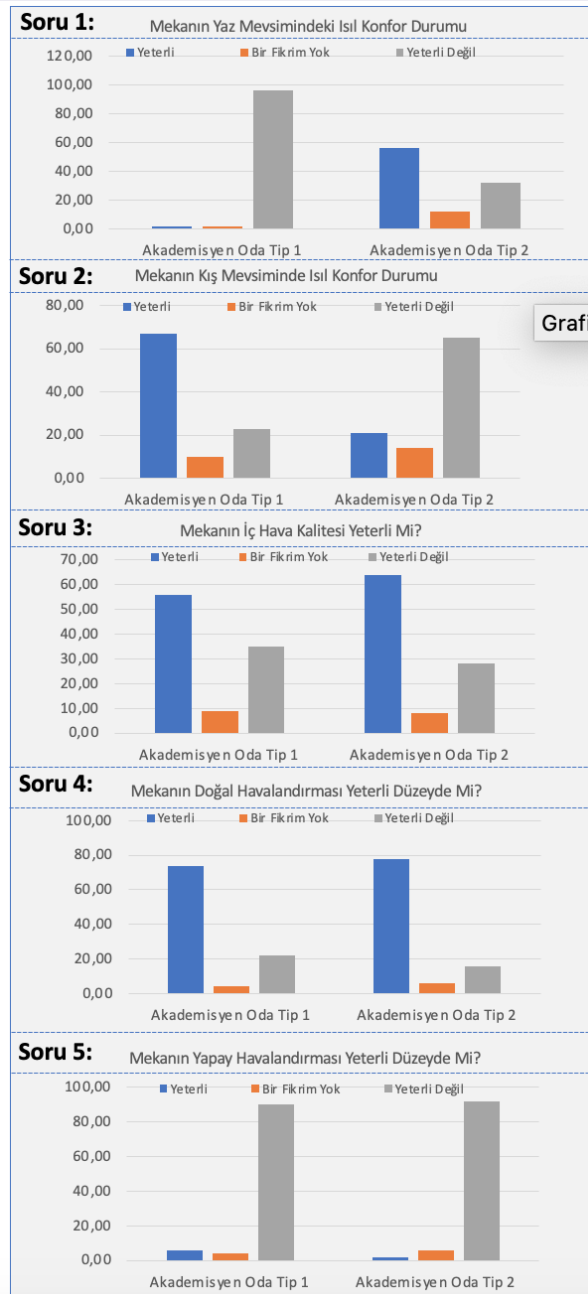
Şekil 47. Termal konfor koşullarının belirlenmesi-stüdyolar

Amfilerde; tip 1 ve tip 2'nin yaz ve kış mevsiminde ısı konfor durumunun yeterli olduğu görülmüştür (Şekil 48). Amfi tip 3'ün yaz ve kış mevsimlerinde ısı konfor koşullarını sağlamadığı belirtilmiştir. Amfi tip 1'in doğal havalandırmasının yeterli olduğu ve buna pencere açıklıkları ve mekan boyutunun neden olduğu belirtilmiştir. Kullanıcılar yapay havalandırma sisteminin olmamasını olumsuz bir durum olarak değerlendirmişlerdir.



Şekil 48. Termal konfor koşullarının belirlenmesi-amfiler

Kullanıcı görüşmelerinde; akademisyen odası tip 1'in yaz mevsiminde ısı konfor koşullarını sağlamadığı görülmüştür (Şekil 49). Kullanıcılar odaların tüm gün boyunca güneş ışığı aldığını ve mekanda güneş kontrolüne karşı tasarım önlemlerinin alınmadığını ifade etmişlerdir. Tip 2 odalarında ise kış mevsiminde ısınma problemi olduğunu, mekanların kuzeye baktığını ve kalorifer boyutlarının yeterli olmadığını dile getirmişlerdir.

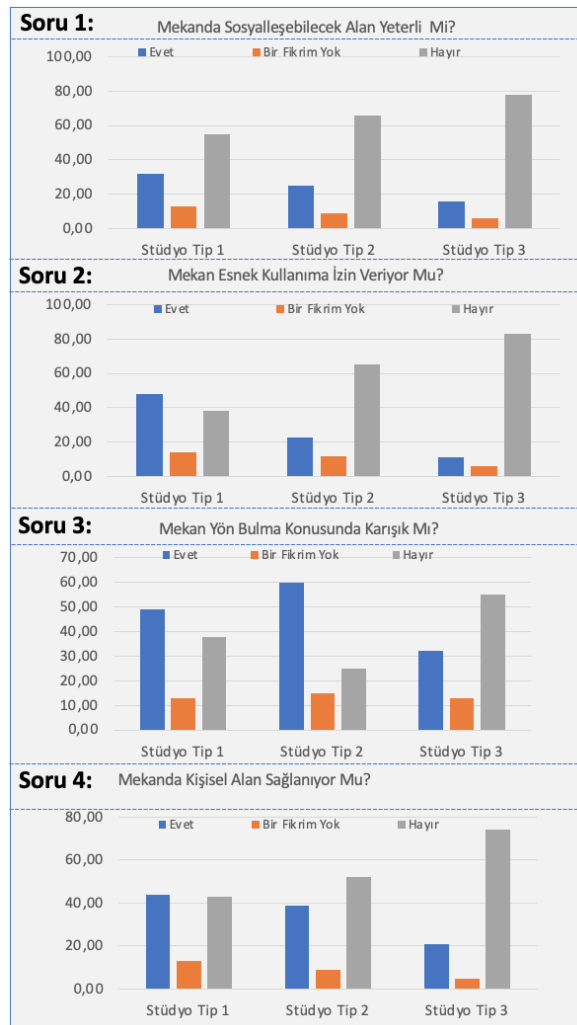


Şekil 49. Termal konfor koşullarının belirlenmesi- akademisyen odaları

4.5 Davranışsal Konfor

Öğrencilerin bölüm yapısı içerisinde, ders dışı zamanlarında sosyalleşebilecekleri, grup olarak çalışma yapabilecekleri, bireysel olarak çalışacakları 7/24 yaşayan mekan bulunmamaktadır. Öğrenciler tüm bu ihtiyaçlarını fakülte kantininde karşılamaktadırlar.

Kullanıcı görüşmelerinde; eğitim yapısı ve mekanlar özelinde sosyalleşme alanının yeterli olmadığı görülmüştür. Öğrenciler ve eğitimciler; arkadaşları ile bir araya gelebilecekleri bir mekanın olmadığını görüşmelerde belirtmişlerdir. Mimarlık eğitiminin temel mekanlarından olan stüdyoların sosyalleşmeye, esnek kullanıma uygun olmadığını 7/24 yaşayan bir mekan haline gelemediğini belirtmişlerdir. Mekan içerisinde bireysel çalışmaya imkan sağlayacak kişisel alan kurgusunun olmadığını ifade etmişlerdir (Şekil 50).



Şekil 50. Davranışsal konfor koşullarının belirlenmesi- stüdyolar

5.TARTIŞMA

Bu çalışmada; mimarlık bölümü yapısında ergonomik konfor koşulları araştırılmıştır. Belirlenen sorunlara ilişkin genel bir değerlendirme ve çözüm önerileri şu şekildedir: (Şekil 51)

- Öğrencilerin önemli bir bölümü çalışma mekanlarının boyutlarını yeterli olmadığını bildirmişlerdir. Özellikler stüdyoların verimli kullanılmadığını belirtmişlerdir. Mimarlık bölümünün stüdyo anlayışı gereği mekansal olarak farklılaşmalara gidilmesi gereklidir. Yapı içerisinde tasarım stüdyosu olan mekanlar kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verememektedir. Esnek plan çözümü yoktur. Yapıda bulunan diğer bölümlerin mekan boyutları, biçimleri ve donatıları mimarlık bölümü ile aynıdır. Yapıda öğrencilerin bireysel ve toplu çalışma, maket yapacakları mekanlar tasarlanmamıştır.
- Öğrenciler, mekandaki donatıları ergonomik standartlara uygun olarak değerlendirmişlerdir.
- Mekansal konfor koşulları bulgularında olduğu gibi duysal olarak değerlendirilen işitsel ve termal konfor koşulları kabul edilebilir oranlarda bildirilirken nicel ölçümler de yapılmıştır. Yapıda işitsel konfor sağlanamamaktadır. Yapıda termal konfor stüdyolarda ve akademisyen odalarında sağlanamamaktadır. Yapıda iç hava kalitesi yeterli seviyede değildir. Yapının yapay havalandırma sistemi bulunmamaktadır.
- Görsel konfor açısından incelendiğinde; koridorlar görsel konfor açısından yeterli bulunmuştur. Stüdyolardaki aydınlatmalar yeterli olmamakta, karanlık bölgeler oluşmaktadır. Mekanların yapı içerisindeki konumları da aydınlatma düzeylerini, güneş kontrolünü etkilemektedir. Yapı içerisinde renk ve doku kullanımına gidilmemiştir.

Davranışsal konfor koşullarının değerlendirilmesinde nicel bir ölçüm yapılamamış; öğrencilerin sosyalleşme mekanı varlığı, kişisel alan oluşumu, yön bulmada kolaylık, mahremiyet kavramlarının bulgularına verdikleri

cevaplar nitel olarak sorgulanmıştır. Eğitim mekanlarının yanında ortak kullanıma açık, çok amaçlı kullanılabilir etkinlik alanları ve sosyal mekanlar bulunmamaktadır.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ							
		MEKANSAL	GÖRSEL K.	İŞİTSEL K.	TERMAL K.	DAVRANIŞSAL K.	
				●	○	●	○
İÇ MEKAN	KAMUSAL	EĞİTİM	Stüdyo 1	●	○	●	○
			Stüdyo 2	○	○	●	○
			Stüdyo 3	○	○	●	○
		Amfi 1	●	●	●	●	
		Amfi 2	○	○	●	●	
		Amfi 3	○	○	●	●	
	KANTİN	○	●	○	●	○	
	ÖZEL	Akademisyen O.	●	○	○	○	●
		Akademisyen O.	○	●	●	○	●
		Toplantı O.	●	●	○	●	
Bölüm Bşk. O.		●	●	●	●	●	
DOLAŞIM	Koridor	●	●	○	●		
	Merdiven	●	●				
	Rampa	○	●				
	Asansör	○					
ISIAK	Akademisyen	●	●				
	Öğrenci	○	●				

Şekil 51. Ergonomik konfor koşullarının değerlendirilmesi

Son dönemlerde yapılan araştırmalar incelendiğinde; araştırma yöntemi oluşturma, literatürdeki eksiklikler, konuya yaklaşım ihtiyacı gibi durumlar bu çalışmanın amaçları ile örtüşmektedir. Altın ve Ülker'in (2021) çalışması dışındaki literatürde yer alan diğer çalışmalarda üniversite yapılarında veya öğrencilerin eğitim aldıkları bölümlerin yapılarına yoğunlaşmadığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın, mimarlık bölümü yapısı mekanları üzerinde yoğunlaşması ile literatürdeki bir eksiği doldurması ve gelecekteki araştırmacıları üniversite yapılarında her bir bölüm özelinde veya eğitim sistematiği üzerinde çalışmaya teşvik etmesi nedeniyle önemli ve ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Ayrıca bu çalışma, benzer konularda çalışmaları olan Aydın ve Ülker (2021)'deki gibi eğitim yapılarına mekânsal, görsel, işitsel, termal konfor koşullarını ve yapıdaki problemleri ortaya koyan bütüncül bir bakış açısı geliştirmeyi amaçlamıştır. Ergonomik konfor koşullarını parçacıl olarak analiz eden, tek bir konfor koşulu üzerinden yapıyı detaylı analiz eden çalışmaların varlığı ve alana katkısı yadsınamaz. Bütüncül yaklaşım ile belirlenen her bir sorun ileride odaklanılan çalışmalar ile daha detaylı incelenmelidir.

6.SONUÇ

Mimarlık bölümü yapısı; eğitim yapıları içersinde, özel tasarım kararları gerektiren ve tasarım derslerinin verildiği özellikle stüdyo çalışma ortamlarında ergonomik ölçütler doğrultusunda tasarlanması gereken nitelikli mekanlardır. Stüdyolar sadece ders saatleri içerisinde değil; ders dışı ödev hazırlama, çizim ve maket yapma faaliyetlerinde de çok kullanılan mekanlardır. Bu durum öğrencilerin eğitimi sürecinde bu mekanların ergonomik açıdan belli bir standartta olması gerektiğinin önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışma, üniversite kampüsünün ve mimarlık bölümü yapısının var olan ergonomik sorunları ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda ergonomi- eğitim mekanı ilişkisini yeniden tartışmayı amaçlamaktadır. Çalışma göstermiştir ki, her bir üniversitenin ve bölümün; çalışma biçimleri, mekânsal gereksinimleri ve olanakları birbirinden farklıdır. Ayrıca çalışma, eğitim yapılarındaki sorunların çözümünü, mekandan ve mekânın ergonomik konfor koşullarını sağlamasından ayrı olarak düşünülmemeyeceğini ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmanın dikkat çektiği bir konu, mimari tasarım öğrencilerinin çalışma mekanlarının sadece antropometrik ölçütler dahilinde tasarlanmaması; davranışsal koşulların da gözetilmesi gerektiğidir. Stüdyolardaki çizim masaları, donatı ergonomisinin önemini göstermektedir. Özellikle masanın yüksekliğinin, açılma eğiminin, öğrencilerin ihtiyaçlarına ve çalışma durumlarına göre ayarlanabilmesi, sabit olmaması, mekan içerisinde hareket edebilmesine imkan tanınması, eğitim, çalışma ve üretim aşamalarındaki farklı ihtiyaçlara cevap verebilecek esneklikte olması bu sorunun giderilmesinde etkili olabilir. Çalışmanın ortaya koyduğu bir

diğer konu ise; mekanlarda yapay aydınlatma sistemleri olsa dahi, ışığın mekan içerisinde homojen dağılım göstermemesi gibi problemler yaşandığıdır. Bilgisayar ekranına ışığın geliş açısı, ekranın yansıma yapması gibi ışığın geliş yönü kaynaklı sorunlarda da doğal aydınlatma sistemlerinden faydalanılması gerekli görülmüştür.

Eğitim yapılarında ergonomik konfor koşullarının gözetilip tasarımların bu yönde geliştirilmesi, öğrenci memnuniyeti ve başarısının artırılabilmesi için, çalışma ortamlarının bu doğrultuda düzenlenmesi gerekliliğinin farkındalık oluşturulması, öğrencilerin ve eğitimcilerin kısa ya da uzun vadede ergonomik nedenlerden dolayı rahatsızlık, memnuniyetsizlik ve derslerde başarısızlık yaşamalarının önüne geçecektir. Sonuç olarak, eğitimin verimini, öğrencilerin eğitim hayatlarının büyük bir çoğunluğunu geçirdikleri bu mekanlardaki memnuniyetlerini, sağlık ve güvenlik unsurlarını karşılamak için yapı içerisinde ve kampüs tasarımında ergonomi kavramına önem verilmelidir.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda, bu çalışmanın özellikle ergonomik konfor koşullarının yükseköğretim kurumlarında değerlendirilmesi için önemli bir altlık olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma; özellikle araştırma yöntemi açısından, potansiyel çalışmalar için yol gösterici olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazar çalışmanın tamamını kendisi yapmıştır.

KAYNAKLAR

- Acoustic Design of Schools Building Bulletin 93 (BB93). (2018). Client Information Bulletin. Hann Tucker Associates. Erişim Adresi: [http://www.hanntucker.couk/CIBs/2018/CIB%2011%20%20Acoustic%20Design%20of%20Schools%20Building%20Bulletin%2093%20\(BB93\).pdf](http://www.hanntucker.couk/CIBs/2018/CIB%2011%20%20Acoustic%20Design%20of%20Schools%20Building%20Bulletin%2093%20(BB93).pdf) Erişim Tarihi: 13.03.2022
- Altın, M. A. ve Ülker, O. (2021). Tasarım Öğrencilerinin COVID-19 Kapanmasındaki Yoğun Uzaktan Eğitim Döneminde Ortaya Çıkan Ergonomik Sorunlarının İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Gelistirme Dergisi*, 13(3), 188–201.
- Altmann, U.S. (2015). *Learning Environment: The Influence of School and Classroom Space on Education*. NY Routledge, ABD.
- ANSI S12.60-2002. (2002). American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools Accredited Standards Committee. Erişim Adresi: https://www.soundivide.com/uploads/content_file/asa_acoustic_requirements_for_schools-50.pdf Erişim Tarihi: 12.02.2022
- Atış, S. (2008). Eğitim Kurumlarında Aydınlatma Sistemi. *İstanbul: 1.Uluslararası Türkiye Eğitim Araştırmaları Kongresi*.
- Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (2009). Erişim Adresi: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/statik_sayfa_ekleri/BİNA%20VE%20YÖNETİCİLERİ%20BİLGİLENDİRME%20PANELİ%20-YANGIN%20GÜVENLİĞİ.pdf Erişim Tarihi: 24.07.2023
- Classroom, Erişim Adresi: http://picdeer.com/media/1989932102656945181_558430656.html Erişim Tarihi: 10.05.2022.
- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığı Erişim Adresi: http://www.isguvenligi.net/wp-content/uploads/mevzuat/cevresel_gurultunun_degerlendirilmesi.pdf Erişim Tarihi: 16.03.2022
- Ergenoğlu, A. (2013). *Mimarlıkta Kapsayıcılık: 'Herkes İçin Tasarım'*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Ertaş, Ş., (2012). Çocuk ve Spor İlişkisi Üzerine Fiziksel Biçimlenmeyi Etkileyen Ergonomik Faktörlere Dayalı Bir Model. Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

- Gülgün, B. ve Altuğ, İ. (2006). İzmir Kıyı Bandı Uygulamalarında Ergonomik Standartlara Uygunluğun Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1), 145-156.
- Güremen, L., (2012). Amasya Kentinde İlköğretim Okullarında İç ve Dış Çevre Gürültü Koşullarının Değerlendirilmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 7(2),415-435.
- Herman Hertzberger, (2016). *Architecture and Education*. Erişim Adresi: <https://architectureandeducation.org/2016/02/03/interview-with-herman-hertzberger/> Erişim Tarihi: 13.04.2022
- Higgins, S., Hall, E., Wall, K., Woolner, P., McCaughey, C., (2005). *The Impact of School Environments: A Literature Review*. Design Council, University of New Castle, İngiltere.
- Kanawaty, G., (1997). *İş Etüdü*. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Kavak, M. (2010). Evrensel Tasarım Yaklaşımı Bağlamında Kamusal Mekanlar: Harbiye Kongre Vadisi Örneği. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Knez, I., Kers, C. (2000) Effects of Office Lighting On Mood and Cognitive Performance and a Gender Effect in Work Related Judgment. *Environment and Behavior*, 30(4), 553-567.
- Moore, G.T, Lackney J.A (1993). School Design: Crisis, Educational Performance and Design Applications. *Children's Environments*, 10(2), 1-22.
- Neufert, E., (1983). *Yapı Bilgisi*. Kelaynak Yayınevi.
- Okullarda Isıl Konfor. (2019). Erişim Adresi: <http://iccevrekalitesi.net/pdf/2pdf> Erişim Tarihi: 03.04.2022.
- Sanoff, H., (1995). *Creating Environments for Young Children*. Raleigh, N.C.: North Carolina State University.
- Schneider, M. (2002). *Do School Facilities Affect Academic Outcomes?*. DC: National Clearinghouse for Educational Facilities.
- Stone, N.J., English, A.J. (1998). Task Type, Posters, and Workspace Color on Modd, Satisfaction and Performance. *Journal of Environmental Psychology*, (18),175-185.
- Şensoy, S.A. (2020). *Eğitim Yapıları ve Tasarımı (2. Baskı)*. Pegem Akademi.
- Taylor,A. (2009). *Linking Architecture and Education*. NM: University of New Mexico Press, ABD.
- T.C. Resmi Gazete, Yapı Denetim Uygulama Yönetmeliği. (26778), 05.02.2008
- TS 9111, (2011). *Özürlüler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 12576, (2012). *Şehir İçi Yollar- Kaldırım ve Yaya Geçitlerinde Ulaşılabilirlik için Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yanılmaz, Z., Sönmez, E., Ertaş Beşir, Ş. (2019). Okul Öncesi Eğitim Yapılarında 'Aktivite Alanlarının' Ergonomik Düzenlemeler Doğrultusunda Tasarlanması. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12(65). 522-530.
- Woolner, P. (2010). *Design of Learning Spaces*. NY Future School Press, ABD.

Makine Öğrenimi ve Hibrit Altuzay Sınıflandırıcılar için Yalıtık Kelime Tanıma Performanslarının Karşılaştırılması

A Comparison of Isolated Word Recognition Performances for Machine Learning and Hybrid Subspace Classifiers

Serkan KESER^{1*}

^{1*} Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Kırşehir, Türkiye

ÖZET

Konuşma tanıma çalışmalarında tanıma oranlarını etkileyen temel faktörlerden biri çevresel arka plan gürültüsüdür. Bu çalışmada, konuşmacıdan bağımsız izole kelime tanıma işlemini gerçekleştirmek için farklı gürültü türlerini içeren bir konuşma veritabanı kullanılmıştır. Böylece gürültülü konuşma sinyallerinin sınıflandırıcıların tanıma performansı üzerindeki etkilerini anlamak mümkün olacaktır. Çalışmada K-En Yakın Komşular (KNN), Fisher Doğrusal Diskriminant Analizi-KNN (FLDA-KNN), Ayrımcı Ortak Vektör Yaklaşımı (DCVA), Destek Vektör Makineleri (SVM), Evrimsel Sinir Ağı (CNN) ve Tekrarlayan Sinir Ağı kullanılmıştır. Sınıflandırıcı olarak Uzun Kısa Süreli Bellek (RNN-LSTM) kullanıldı. Özellik vektörleri olarak MFCC ve PLP katsayıları kullanıldı. DCVA sınıflandırıcısı, literatürde ilk kez izole edilmiş kelime tanıma açısından derinlemesine test edilmiştir. Tanıma işlemi KNN, FLDA-KNN ve DCVA sınıflandırıcıları için çeşitli mesafe ölçütleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yeni (DCVA)_{PCA} ve (FLDA-KNN)_{PCA} sınıflandırıcıları, Temel Bileşen Analizi (PCA) kullanılarak hibrit algoritmalar olarak tasarlanmış ve DCVA ve FLDA-KNN sınıflandırıcılarından daha iyi tanıma sonuçları elde edilmiştir. En yüksek tanıma oranı deneysel çalışmalarda RNN-LSTM ile %93,22 bulunmuştur. Diğer sınıflandırıcılar için ise en yüksek tanıma oranları sırasıyla CNN, KNN, DCVA, (DCVA)_{PCA}, SVM, FLDA-KNN ve (FLDA-KNN)_{PCA}'nın %87,56, %86,51, %74,23, %79, %77,78, %71,37 ve %84,90'dir.

Anahtar Kelimeler: Gürültülü Konuşma Sinyalleri, Hibrit Alt Uzay Sınıflandırıcıları, Makine Öğrenimi Sınıflandırıcıları, PLP, MFCC

ABSTRACT

One of the essential factors affecting recognition rates in speech recognition studies is environmental background noise. This study used a speech database containing different noise types to perform speaker-independent isolated word recognition. Thus, it will be possible to understand the effects of speech signals having noise on the recognition performance of classifiers. In the study, K-Nearest Neighbors (KNN), Fisher Linear Discriminant Analysis-KNN (FLDA-KNN), Discriminative Common Vector Approach (DCVA), Support Vector Machines (SVM), Convolutional Neural Network (CNN), and Recurrent Neural Network with Long Short-Term Memory (RNN-LSTM) were used as classifiers. MFCC and PLP coefficients were used as feature vectors. The DCVA classifier has been deeply tested for isolated word recognition for the first time in the literature. The recognition process was carried out using various distance measures for the KNN, FLDA-KNN, and DCVA classifiers. In addition, new (DCVA)_{PCA} and (FLDA-KNN)_{PCA} classifiers were designed as hybrid algorithms using Principle Component Analysis (PCA), and better recognition results were obtained from those of DCVA and FLDA-KNN classifiers. The highest recognition rate of RNN-LSTM was 93.22% in experimental studies. For the other classifiers, the highest recognition rates of the CNN, KNN, DCVA, (DCVA)_{PCA}, SVM, FLDA-KNN, and (FLDA-KNN)_{PCA} were 87.56%, 86.51%, 74.23%, 79%, 77.78%, 71.37% and 84.90%, respectively.

Keywords: Noisy Speech Signals, Hybrid Subspace Classifiers, Machine Learning Classifiers, PLP, MFCC

Başvuru: 07.08.2023 Son Revizyon: 24.09.2023 Kabul: 04.10.2023
Doi: 10.51764/smutgd.1338977

^{1*}Sorumlu yazar: Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bağbaşı kampüsü, Kırşehir, Türkiye; E-mail: skeser@ahievran.edu.tr; ORCID: 0000-0001-8435-0507

1. INTRODUCTION

Speech recognition systems are used in many different fields as smart homes where domestic devices are controlled by voice commands, control of robots and vehicles, interactive voice response systems, speech dictation, speech emotion recognition, and speaker recognition (Filho & Moir, 2010; Anggraeni, 2018; Soujanya and Kumar, 2010; Furui et al., 2004; Beigi, 2011; Lalitha, 2015; Akyazi et al., 2019). Speech recognition can be performed speaker-dependent or speaker-independent for a speech database. The size of the database and speaker dependency factors also have an essential effect on the recognition rates of the classifiers.

The Dynamic Time Warping (DWT) algorithm, one of the most used speech recognition classifiers in the literature, is a matching method used in the similarity measurement of time series. On the other hand, the overall recognition rate of DWT is lower than those of different classifiers (Permanasari et al., 2020). The Hidden Markov Model (HMM) is a classifier that uses a language model and gives high recognition rates, especially in real-time and speaker-independent recognition (Palaz et al., 2019; Muhammad et al., 2020; Tokuda et al., 2000). Recurrent Neural Networks (RNN), using Long-Short-Term Memory (LSTM) architecture is a deep learning algorithm that is widely used in speech recognition today and is known to give satisfying results (Sak et al., 2014; Dokuz and Tüfekci, 2020). Another deep learning algorithm used in voice recognition is Convolutional Neural Networks (CNN). Using the CNN algorithm as a classifier, high recognition rates can be obtained in speech recognition (Guleti et al., 2020; Dokuz and Tüfekci, 2020).

Another family of classifiers used in speech recognition is subspace classifiers. Basic subspace classifiers used in image or speech recognition in the literature are known as Fisher Linear Discrimination Analysis (FLDA), Class Featuring Information Compression (CLAFIC), and Common Vector Approach (CVA) (Keser and Edizkan, 2009; Yavuz et al., 2006; Gunal and Edizkan, 2008). The CVA, a subspace classification method, gives high recognition rates in limited isolated word recognition applications (Gülmezoglu, 1999; Gunal and Edizkan, 2008; Keser and Edizkan, 2009). In addition, CVA can work faster than many classifiers mentioned above because it uses one vector representing each class, making it attractive for real-time speech or image recognition applications. First, the Discriminative Common Vector Approach (DCVA), based on the CVA method and used mainly in face recognition applications, was introduced by Çevikalp (2005). The DCVA approach can give better results in face recognition applications than other subspace methods such as Eigenface and FLDA classifiers (Çevikalp, 2005). According to the CVA, the advantage of the DCVA is that it uses feature vectors of size one less than the number of classes for each class. Also, the DCVA has a lower computation time than the Eigenface and FDAA subspace methods, just like the CVA. The FLDA, another essential subspace method, is a classifier generally used in face recognition studies and is based on the Linear Discrimination Analysis (LDA) method (Kolossa et al., 2013; Song et al., 2014). However, it is also used in speech recognition studies (Srisuwan et al., 2018, Sivaram et al., 2010).

Background noise added to the microphone apart from the human speech is essential for real speech recognition systems. Many studies are used to recognize speech signals containing noise in the literature. One of these has been introduced to investigate noise robustness (Seltzer et al., 2013). This work is a new acoustic model based on deep neural networks (DNN) and HMM. Another study is based on the very deep convolutional residual network (VDCRN). This paper proposes a more advanced model referred to as the VDCRN (Tan et al., 2018), and speech recognition was tested in noisy environments. Finally, Sumit et al. proposed an end-to-end deep learning approach leveraging current progress in the automatic speech recognition system to recognize continuous Bangla speech in noisy environments.

Therefore, examining the classifier's performance in speech recognition for noise-containing speech signals will be essential. The study performed a classification process using a speech database containing various noises for speaker-independent isolated word recognition. This work also used machine learning algorithms, like the CNN, KNN, SVM, RNN-LSTM, and the DCVA and FLDA subspaces classifiers. Furthermore, algorithms based on the different distance measures (Euclidean, Correlation, Cityblock, Spearman) were applied in the DCVA, FLDA-KNN, and KNN for more detailed investigations. In addition, for the first time in the literature for speech recognition, the DCVA was deeply tested using sufficient data states and different distance measures. The number of classes used in the study is 18, and 150 speech signals were used by taking speech signals ranging from 1 to 5 from people randomly selected in the speech database for each class. Perceptual Linear Prediction (PLP) and MFCC coefficients were found for each frame whose length is 20 ms, and the overlap between consecutive frames is 50%. In addition, the study used 13 or 39-dimensional MFCC and PLP coefficients for each frame. The 39 coefficients are performed by combining 13 MFCC (or PLP), 13 delta, and 13 delta-delta coefficients. In some of the test processes, the

dimensions of these feature vectors were reduced using PCA, and then algorithms such as DCVA or FLDA-KNN were used, while other tests were carried out without reducing the size with PCA. Finally, the DCVA and FLDA-KNN algorithms used PCA were named $(DCVA)_{PCA}$ and $(FLDA-KNN)_{PCA}$. In the testing phase, 3-fold cross-validation was applied for all classifiers, and the average recognition performances were obtained using these classifiers. Finally, the RNN-LSTM gave the best recognition performance in experimental studies (93.21%).

2. THE PROPOSED CLASSIFIER ALGORITHMS

The CNN, KNN, RNN-LSTM, SVM, FLDA-KNN, $(FLDA-KNN)_{PCA}$, DCVA, and $(DCVA)_{PCA}$ algorithms were preferred in the study. These classifiers are frequently used for speech recognition in the literature except for the DCVA.

2.1 The Proposed RNN-LSTM Algorithm

An LSTM network is a Recurrent Neural Network (RNN) type that can learn long-term dependencies between time steps of sequence data (Tan and Wang, 2018). An RNN is a deep-learning network structure that uses past information to improve the network's performance on current and future inputs. The used RNN-LSTM architecture is shown in Figure 1. This diagram illustrates the architecture of a simple LSTM network for classification.



Figure 1. The proposed RNN-LSTM algorithm structure

The network starts with a sequence input layer followed by an LSTM layer. The network ends with a fully connected layer, a SoftMax layer, and a classification output layer to predict class labels. Fully connected layers connect every neuron in one layer to every neuron in the next layer (Tan and Wang, 2018). The SoftMax layer includes a SoftMax function that turns a vector of N real values that sum to 1. On the other hand, the SoftMax layer assigns real probabilities to each class. At the output, the signal is assigned to the relevant class according to the values from the SoftMax layer. The LSTM has the forget, input, and output states, which help the network reduce the long-term dependency on data. Forget state removes redundant data while the input state processes new data (Garcia et al., 2020). The block diagram of the LSTM cell is shown in Figure 1 (Garcia et al., 2020).

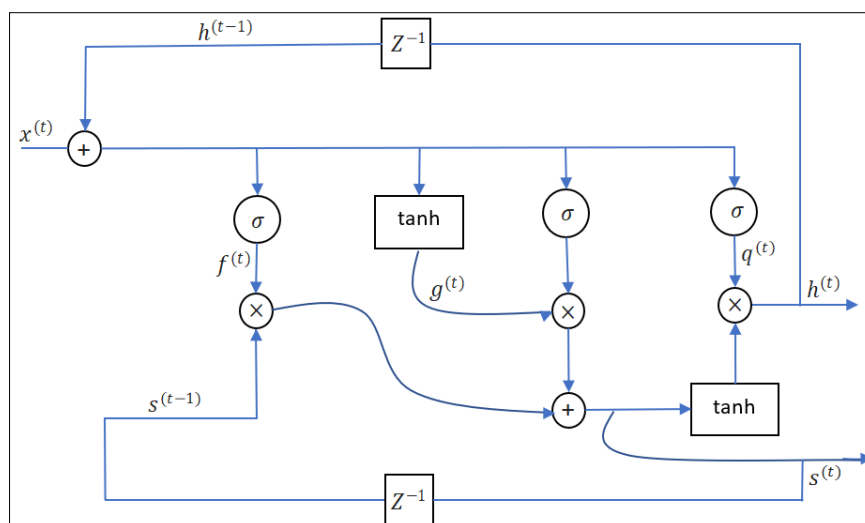


Figure 2. Block diagram of one cell of a long-short term memory architecture.

In Figure 2, The forget state controls the state parameter $s(t)$ via a sigmoid function s . $f(t)$ is the forget vector, $x(t)$ and $h(t-1)$ are the input and previous output, respectively. $g(t)$ is the next candidate for the cell state.

2.2. The Proposed CNN Algorithm

The proposed network consists of only five convolution layers with filters. Each convolution layer has batch normalization, ReLU, and maximum pooling layers. After the five stages of convolution, the network has a fully connected layer, a SoftMax layer, and finally, the classification layer. The Adam optimizer is used to train the network. The feature vectors obtained from the speech signals are used as the input data. The used block diagram of the architecture is shown in Figure 3.

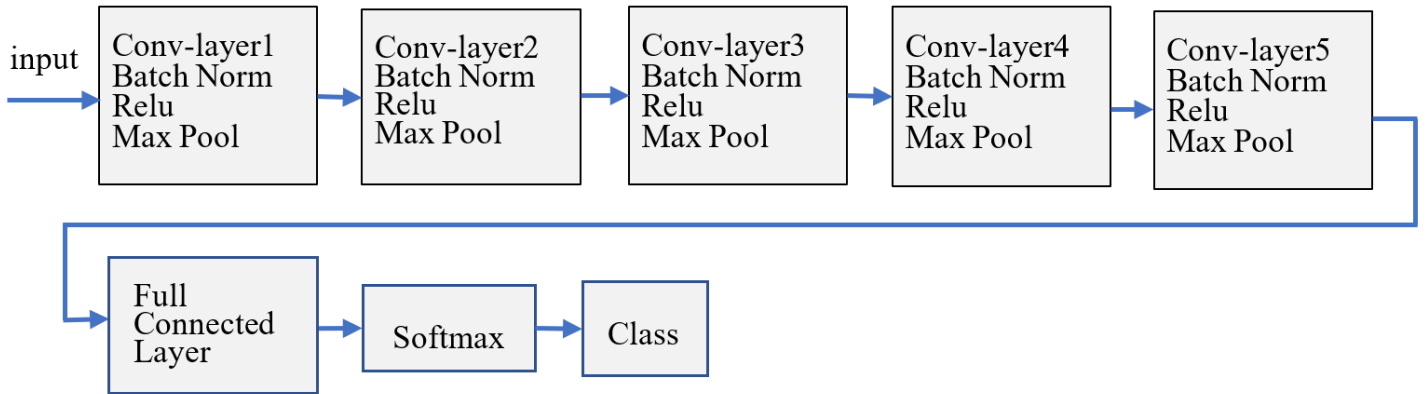


Figure 3. CNN architecture block diagram

2.3. The Proposed SVM Algorithm

The SVM is a machine learning algorithm mostly used for classification, which can be performed for two or more classes using SVM (Miao et al.,2018). Linear, polynomial, and radial basis kernel functions are generally used for classification. These kernels provide a more accurate classification by assigning the feature vectors of the classes to higher dimensions. With equations, the radial basis function (RBF), Linear, and Polynomial kernels are given below. The RBF kernel is one of the most widely used kernels due to its similarity to the Gaussian distribution and can be represented as $K(x_1, x_2)$ given by

$$K(x_1, x_2) = e^{-a\|x_1-x_2\|^2} \quad (1)$$

where the variable a varies from 0 to 1, and x_1 and x_2 are vectors in the input space. The following equation represents the linear kernel:

$$K(x_1, x_2) = \langle \varphi(x_1), \varphi(x_2) \rangle \quad (2)$$

where φ is the function that maps the x 's to linear space, the polynomial kernel is a kernel function commonly used with support vector machines (SVMs). For degree- d polynomials, the polynomial kernel is defined as (Zhang and Gales, 2012)

$$K(x_1, x_2) = (1 + x_1^T x_2)^d \quad (3)$$

2.4. The Proposed KNN Algorithm

The KNN is a machine-learning algorithm that can solve classification and regression problems (Soucy and Mineau, 2001). This algorithm uses the number of neighbors and distance measures such as Minkowski, Euclidean, Cityblock, Spearman, Correlation, and Chebyshev. The test signal is assigned to the most appropriate class calculated using the nearest neighbor algorithm (Song et al., 2007). The study used Euclidean, Cityblock, Spearman, and Correlation distance measures for the proposed KNN algorithm.

2.5. The Proposed DCVA Algorithm

Its low computational complexity is the most important feature distinguishing the DCVA from other subspace methods. The main reason for this advantage is that it uses a single discriminative common vector representing each class (Gulmezoglu et al., 1999). The block diagram of the proposed DCVA algorithm is given in Figure 4 below. In Figure 4, the letters SDM stand for the Selected Distance Measure.

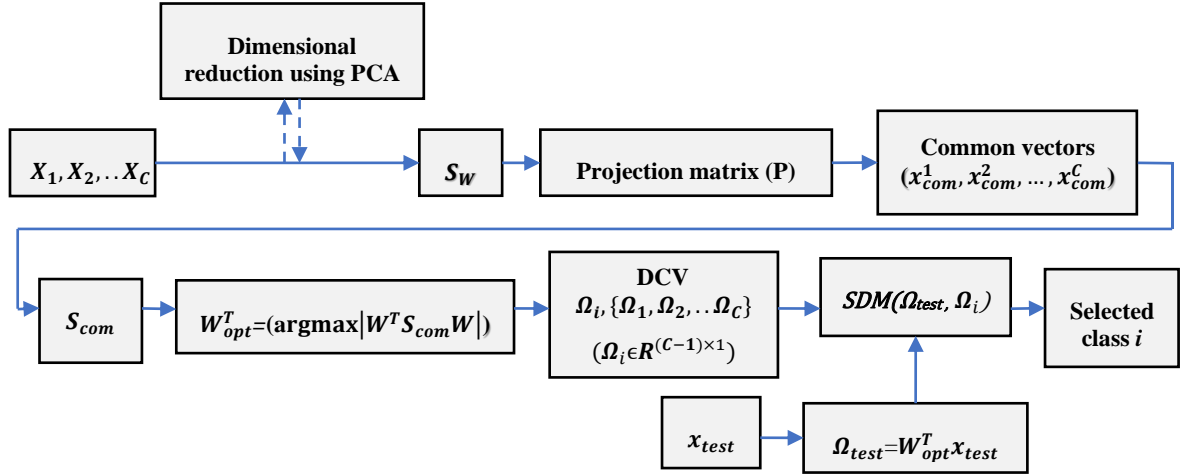


Figure 4. Block diagram of the proposed DCVA algorithm

The vectors \mathbf{X} in Figure 4 are the feature vectors obtained using the MFCC or PLP coefficients. Tests were performed both with and without PCA for DCVA. When PCA is used for both DCVA and FLDA, a better recognition rate can be obtained by eliminating the noise components contained in the feature vectors. The within-class scatter matrix \mathbf{S}_w is found as follows:

$$\mathbf{S}_w = \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^K \left((\mathbf{x}_j^i - \boldsymbol{\mu}_i)(\mathbf{x}_j^i - \boldsymbol{\mu}_i)^T \right) \tag{4}$$

where $\boldsymbol{\mu}_i$ denotes the mean vector of the i th class. To project the samples in the training set, we can use the eigenvectors consisting of the indifference subspace denoted by \mathbf{U} (Gulmezoglu et al., 1999). Then, the projection matrix \mathbf{P} is determined by,

$$\mathbf{P} = \mathbf{U}\mathbf{U}^T \tag{5}$$

The common vectors are obtained for all classes as follows,

$$\mathbf{x}_{com}^i = \mathbf{P}\mathbf{x}_j^i, \quad r=1,2,\dots,K, i=1,2,\dots,C \tag{6}$$

The scatter matrix obtained from common vectors can be found using the following equation:

$$\mathbf{S}_{com} = \sum_{i=1}^C (\mathbf{x}_{com}^i - \boldsymbol{\mu}_{com})(\mathbf{x}_{com}^i - \boldsymbol{\mu}_{com})^T \tag{7}$$

where $\boldsymbol{\mu}_{com}$ indicates the mean vector of the common vectors. In this case, the eigenvectors corresponding to the nonzero eigenvalues of the \mathbf{S}_{com} matrix give the optimal projection vectors for the DCVA.

$$J(\mathbf{W}_{opt}) = \text{argmax} |\mathbf{W}^T \mathbf{S}_{com} \mathbf{W}| \tag{8}$$

The feature vectors can be written by using the optimal projection vectors.

$$\Omega_i = [\langle x_r^i, w_1 \rangle \cdots \langle x_r^i, w_{C-1} \rangle] \tag{9}$$

These vectors (Ω_i) are called discriminative common vectors, whose dimensions are at most $C-1$. In the test phase, to classify the face images in the test set, the feature vectors of these images are found by

$$\Omega_{test} = W_{opt}^T x_{test} \tag{10}$$

where $W_{opt}^T = [w_1 w_2 \dots w_{C-1}]^T$ and $\Omega_{test} \in \mathbf{R}^{(C-1) \times 1}$. The above operations were performed for the insufficient data case ($M < n$). However, in the case of sufficient data ($M > n$), difference and indifference subspaces can be determined by estimation (Gulmezoglu et al., 1999). Then, the distance values between Ω_{test} and the feature vector (Ω_i) of the i th class are found for the distance measures.

$$D_{a,i} = Distance(\Omega_i, \Omega_{test})_a, \quad i=1,2,\dots,C \tag{11}$$

where a is the selected distance measures (Euclidean, Correlation, Cityblock, Spearman) and $D_{a,i}$ shows the distance value for the i th class and a th distance criterion. Finally, the vector Ω_{test} is assigned to the class that gives the best suitable distance value.

2.6. The Proposed FLDA-KNN Algorithm

The FLDA algorithm maximizing separation between classes in the training process is one of the popular classifiers derived from Linear Discriminant Analysis (LDA) (Yang and Chen, 2014). Figure 5 illustrates the block diagram of the proposed FLDA-KNN algorithm, including the PCA algorithm.

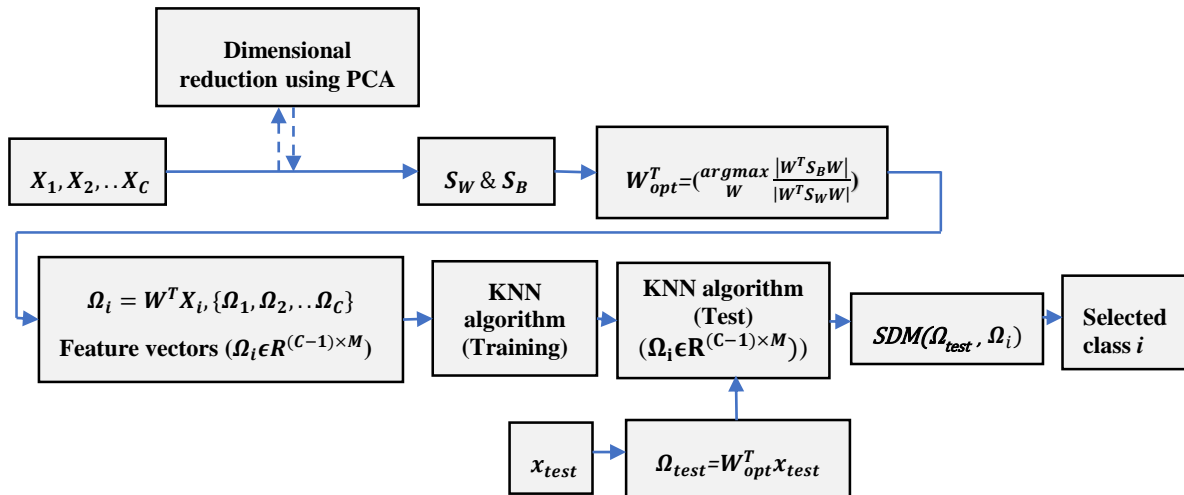


Figure 5. Block diagram of the proposed FLDA-KNN algorithm

As shown in Fig. 5, S_w and S_B scattering matrices are found for the training set's feature vectors. The between-class scatter matrix S_B is calculated by

$$S_B = \sum_{i=1}^C N(\mu_i - \mu)(\mu_i - \mu)^T \tag{12}$$

where N is the number of samples in a class, μ_i is the mean of the i th class, and μ represents the mean of all classes. Then, the optimal set of basis vectors (W_{opt}) is determined using these matrices (Belhumeur et al., 1997).

$$W_{opt} = \underset{W}{\operatorname{argmax}} \frac{|W^T S_B W|}{|W^T S_w W|}, \tag{13}$$

In Eq. (11) specified as below, $C-1$ eigenvectors corresponding to the largest eigenvalues of the formed matrix as a result of $S_w^{-1} S_B$ multiplication gives the optimal basis vector (W_{opt}).

$$S_B w_i = \lambda_i S_W w_i, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Where m is equal to $C-1$. By finding this basis vector, all the feature vectors in the training set are projected onto the optimum space. In other words, the feature vectors with $C-1 \times M$ dimensional are obtained for all samples in a class ($\Omega_i \in \mathbf{R}^{(C-1) \times M}$). Then, using \mathbf{W}_{opt} , feature vectors are found for each class as follows,

$$\Omega_i = \mathbf{W}_{opt}^T \mathbf{X}_i, \quad i = 1, 2, \dots, C \quad (15)$$

where $\Omega_i \in \mathbf{R}^{(C-1) \times K}$ and, K is the number of samples in the i th class. The training process is carried out using the KNN algorithm for the feature vectors (Ω_i). For classification, the test signal is first projected using the \mathbf{W}_{opt} and, then Ω_{test} ($\Omega_{test} \in \mathbf{R}^{(C-1) \times 1}$) is found by,

$$\Omega_{test} = \mathbf{W}_{opt}^T x_{test} \quad (16)$$

In the test phase, the projected test signal (Ω_{test}) is found by using \mathbf{W}_{opt} and assigned using the KNN algorithm to the most appropriate class. For example, Eq. (11) was given in the DCVA and is used for this assignment.

3. EXPERIMENTAL STUDIES

3.1. Speech Database

Speech commands dataset version-2 was used as the database, and 150 speech signals were used for each class. This speech database includes speech signals created by adding artificial mathematical as white gaussian noise and background noises in the study. Each speech signal is a single-channel and 16-bit-PCM signal with a sampling frequency of 16 kHz. These speech signals include numbers from zero to nine: 'zero', 'one', 'two', 'three', 'four', 'five', 'six', 'seven', 'eight', 'nine' and contains 8 words such as 'follow', 'forward', 'stop', 'happy', 'house', 'learn', 'left', 'right'. The speech signals for each class were manually arranged in equal length. The length of each signal is 8800 samples and corresponds to 0.55 seconds. The MFCC and PLP coefficients were found, whose dimensions are 13 and 39 for each frame. Therefore, 689-dimensional (13×53) and 2067-dimensional (39×53) feature vectors (or feature matrices) were obtained for each speech signal. Then, these feature vectors (or feature matrices) were trained and tested separately. Figure 6 below shows nine speech signals containing various noises belonging to the word "five".

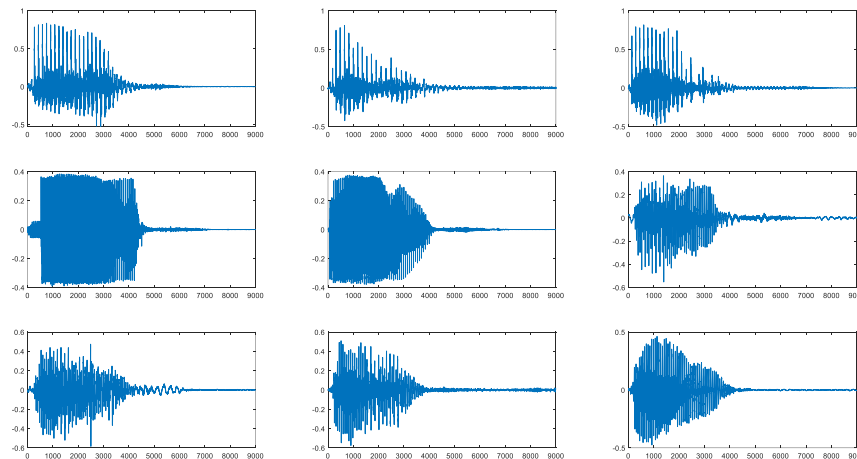


Figure 6. Speech signals containing noise belonging to the word 'five'

3.2. The Proposed Distance Measures

The following four distance measures were preferred in our experimental study. One is the Cityblock distance measure which finds the sum of the absolute values of the differences between two vectors (Abu Alfeilat et al., 2019). The Cityblock distance, which is always greater than or equal to zero, is given by Eq. 20.

$$\sum_{i=1}^k |a_i - b_i| \quad (20)$$

where k is the length of vectors a and b , another distance criterion, Euclidean, is given as Eq. 21 for vectors a and b .

$$\left(\sum_{i=1}^k (a_i - b_i)^2 \right)^{1/2} \quad (21)$$

The Spearman correlation coefficient is the Pearson correlation coefficient between the rank variables (Myers and Well, 2003). The Spearman correlation coefficient can be computed as follows,

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (22)$$

Where $d_i = R(X_i) - R(Y_i)$ is the difference between the two ranks of each observation, n is the number of observations. The correlation distance (Székely et al., 2007) of two random variables is obtained by dividing their distance covariance by the product of their distance standard deviations. The correlation distance is,

$$d = 1 - \frac{(a - \bar{a})(b - \bar{b})^T}{\sqrt{(a - \bar{a})(a - \bar{a})^T} \sqrt{(b - \bar{b})(b - \bar{b})^T}} \quad (23)$$

Where $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_j$ and $\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j$ 'dir.

3.3. Experimental Results

All the studies were carried out in the MATLAB environment. In the study, 150 speech signals were used for each class. One feature matrix was found for each speech signal, that is, the number of the feature matrices is 150 for a class. Next, the feature matrices were divided into three equal parts with 50 dimensions; one was used for testing, and the other was used for training. Thus, 3-fold cross-validation was used for the classifiers. This process was repeated three times, and the test process was completed, and then the average recognition rates were found. The feature matrices for SVM, KNN, DCVA, and FLDA were converted into 689 and 2067-dimensional feature vectors used for the classification. In addition, for the proposed RNN-LSTM and CNN, training and testing processes were carried out using the feature matrices whose dimensions are 13×53 and 39×53. The study performed testing for the KNN, DCVA, and FLDA using Euclidean, Cityblock, Correlation, and Spearman distance measures. Besides, the numbers of the nearest neighbor for the KNN and FLDA-KNN classifiers were chosen as 1, 3, and 5 ($K=1$, $K=3$, and $K=5$). The study used RBF, polynomial, and linear kernels, the three most used kernels in the literature, for SVM. Adam (adaptive moment estimation) optimizer was used for training the network with RNN-LSTM. The number of epochs used in the training phase was 100, the number of iterations was 6600, iterations per epoch was 66, and the learning rate was 0.001. Besides, this algorithm has the LSTM with 100 hidden units, a Fully Connected layer, SoftMax and Classification Output. The proposed RNN-LSTM model's layers are listed in Table 1 below.

Table 1. The layers of the proposed RNN model

Layer level	Layers
1	Sequence Input (Sequence input with 13 or 39 dimensions)
2	LSTM (LSTM with 100 hidden units)
3	Fully Connected (C fully connected layer, C is the number of classes)
4	Softmax
5	Classification Output

Adam (adaptive moment estimation) optimizer was used to train the CNN network. The number of epochs used in

the training phase was chosen as 100, iterations per epoch are 14, and the learning rate is 0.0003. For the proposed CNN and RNN-LSTM, confusion matrices obtained using 50 test data and MFCC13 are given in Fig. 7 (a) and (b) below. In addition, the numbers corresponding to the classes in the confusion matrix are given below.

"1: eight", "2: five", "3: follow", "4: forward", "5: four", "6: happy", "7: house", "8: learn", "9: left", "10: nine", "11: one", "12: right", "13: seven", "14: six", "15: stop", "16: three", "17: two", "18: zero".

True Class	1	50																	
	2		48						1		1								
	3		6	36	4							4							
	4		1	4	36	5		1				2					1		
	5			3	2	44							1						
	6		1				47	1					1						
	7						50												
	8			1				42		2				1			4		
	9		2			2		1	40	1		2							
	10	1						1		44	3	1							
	11							1		3	46								
	12	2	1					1	3	1	4	38							
	13					1		1					47				1		
	14					1								48		1			
	15		1			1			1		1		2		44				
	16	1														40	9		
	17	1				1	1						2			4	40	1	
	18					1		1								2		46	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
		Predicted Class																	

(a)

True Class	1	44							3		3								
	2	1	46		2						1								
	3			43	5					2									
	4			2	41	5					1		1						
	5			1	6	42					1								
	6						50												
	7							50											
	8		1						42		5	2							
	9								5	45									
	10		3								45		2						
	11					2						48							
	12	1										1	48						
	13					1								47				2	
	14														50				
	15			1			1									48			
	16	1															48	1	
	17												1					48	1
	18																	2	48
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
		Predicted Class																	

(b)

Figure 7. The recognition values for the CNN (%87.33) (a) and RNN-LSTM (%92.56) (b)

Recognition results obtained using the DCVA and FLDA-KNN are found for sufficient data cases. For sufficient data, the ratio of the sum of the k smallest eigenvalues to the sum of all eigenvalues gives the amount of energy used. The study observed high recognition rates when energy of around 30% was used for the DCVA. The average recognition ratios of the proposed DCVA and FLDA-KNN are given in Table 2 for 13 MFCC coefficients (MFCC₁₃).

Table 2. The results of the proposed DCVA and FLDA-KNN algorithms for MFCC₁₃

Distance Measures	DCVA	FLDA-KNN (K=1)	FLDA-KNN (K=3)	FLDA-KNN (K=5)
Euc	74.23	71.03	70.51	71.25
Corr	73.56	67.41	67.22	68.07
City	71.45	67.83	68.78	69.14
Sp	63.78	61.42	60.22	61.97

Table 3. The results of the proposed DCVA and FLDA-KNN algorithms for PLP₁₃

Distance Measures	DCVA	FLDA-KNN (K=1)	FLDA-KNN (K=3)	FLDA-KNN (K=5)
Euc	76.40	69.30	69.66	71.78
Corr	73.22	67.14	67.55	69.45
City	73.93	67.83	68.78	70.30
Sp	55.18	61.42	62.22	64.85

When the results in Tables 4 and 5 below are examined, it is seen that (DCVA)_{PCA} and (FLDA-KNN)_{PCA} algorithms give higher recognition rates than DCVA and FLDA-KNN algorithms in Table 2 and Table 3. In Tables 2 and 3, the best DCVA and FLDA-KNN (K=5) results for the Euclidean distance measure were 76.40% and 71.78%, respectively. In Tables 4 and 5, the best DCVA and FLDA-KNN (K=5) results were found at 79.00% and 84.90%, respectively. While 79.00% recognition rate was found using MFCC₁₃ and Euclidean distance measure, 84.90% was found using PLP₁₃ and Correlation distance measure.

Table 4. The results of the proposed (DCVA)_{PCA} and (FLDA-KNN)_{PCA} algorithms for MFCC₁₃

Distance Measures	(DCVA) _{PCA}	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=1)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=3)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=5)
Euc	76.44	80.11	81.34	82.44
Corr	73.54	79.11	79.55	80.41
City	72.23	79.70	80.89	81.20
Sp	54.36	70.44	71.55	72.44

Table 5. The results of the proposed (DCVA)_{PCA} and (FLDA-KNN)_{PCA} algorithms for PLP₁₃

Distance Measures	(DCVA) _{PCA}	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=1)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=3)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=5)
Euc	79.00	82.67	82.85	84.22
Corr	75.56	81.44	81.56	84.90
City	76.88	81.00	81.44	82.55
Sp	56.45	72.88	73.77	75.44

Recognition rates for KNN are given in Tables 6 and 7. Tables 6 and 7 show that the highest recognition values obtained using the correlation distance measure are 78.91% and 86.51%. These recognition values were obtained using MFCC₁₃ and MFCC₃₉. In addition, the recognition rates found for Spearman and Correlation distance measures are higher than those of Euclidean distance.

Table 6. The results of the proposed KNN algorithms for MFCC₁₃ and PLP₁₃

Distance Measures	MFCC ₁₃			PLP ₁₃		
	K=1	K=3	K=5	K=1	K=3	K=5
Euc	67.88	75.62	76.37	67.40	75.04	76.02
Corr	73.21	78.78	78.91	70.31	76.04	76.22
City	68.74	76.25	76.01	66.67	75.41	75.45
Sp	72.86	78.30	78.55	71.07	76.33	76.63

Table 7. The results of the proposed KNN algorithms for MFCC₃₉ and PLP₃₉

DM	MFCC ₃₉			PLP ₃₉		
	K1	K3	K5	K1	K3	K5
Euc	63.04	65.22	69.67	60.18	69.97	70.00
Corr	79.51	86.51	86.18	78.55	84.85	85.25
City	64.72	68.70	65.63	62.66	73.03	72.74
Sp	79.77	85.33	85.93	77.78	84.35	84.20

Table 8. The results of the proposed (DCVA)_{PCA} and (FLDA-KNN)_{PCA} algorithms for MFCC₃₉

Distance Measures	DCVA	(DCVA) _{PCA}	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=1)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=3)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=5)
Euc	73.44	73.67	78.55	79.67	80.94
Corr	70.11	71.11	78.00	78.67	79.78
City	70.22	70.11	77.89	78.22	79.66
Sp	55.00	55.67	61.44	62.21	64.34

In Table 9, the best (DCVA)_{PCA} and (FLDA-KNN)_{PCA} results were 68.44% and 77.29%, respectively.

Table 9. The results of the proposed DCVA, (DCVA)_{PCA}, and (FLDA-KNN)_{PCA} algorithms for PLP₃₉

Distance Measures	DCVA	(DCVA) _{PCA}	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=1)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=3)	(FLDA-KNN) _{PCA} (K=5)
Euc	68.22	68.44	74.22	75.33	77.29
Corr	66.89	67.11	72.44	74.44	76.18
City	64.44	66.33	71.22	74.78	76.26
Sp	57.77	56.56	63.66	64.02	66.36

For the CNN and RNN-LSTM in Table 10, highest recognition rates are obtained 87.56% and 93.21%, respectively.

Table 10. The results of the proposed RNN-LSTM, CNN, and SVM algorithms

Features	CNN	RNN-LSTM	SVM-POL	SVM-RBF	SVM-LIN
Plp ₁₃	86.12	86.24	77.78	67.94	57.22
Plp ₃₉	86.21	93.22	73.88	66.11	56.23
MFCC ₁₃	87.56	88.45	76.56	66.63	57.11
MFCC ₃₉	85.31	85.17	75.25	64.45	56.42

The highest recognition rates of all classifiers are given in Figure 8 below.

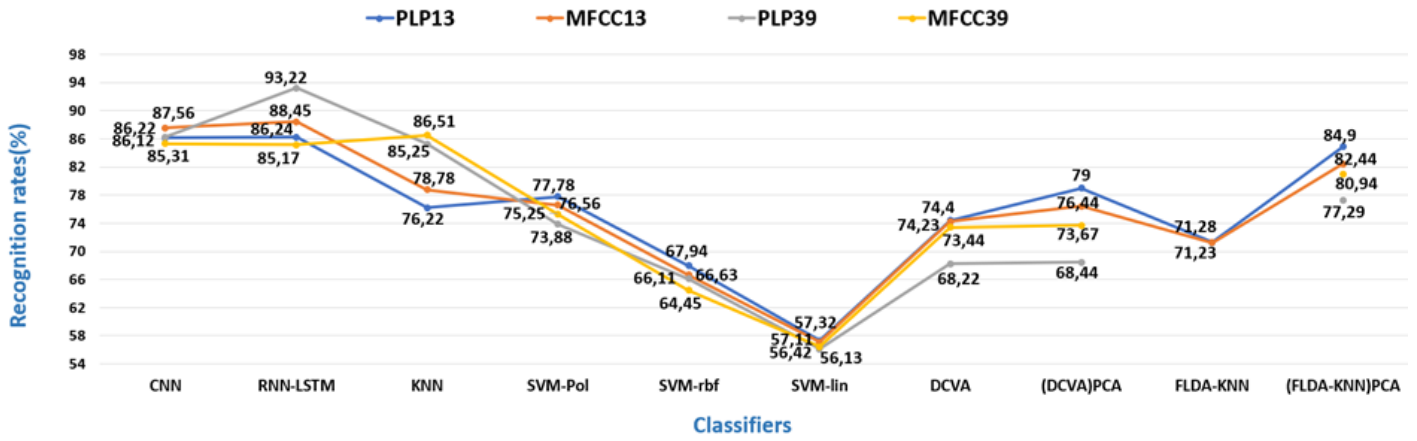


Fig 8. The highest recognition rates of the proposed classifiers

Speech recognition experiments on the testing set are depicted in Fig. 8. As shown in Fig. 8, the CNN and RNN-LSTM achieved over 85% accuracy. On the other hand, the lowest recognition rate belongs to SVM-linear (57.11%).

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Comprehensive tests are carried out for the speech signals with noise in the study. Subspace classifiers and machine learning classification algorithms were used for the test process. While only one distance measure was used in many classical studies, four different distance measures were used in this study to make a more in-depth analysis. The study's MFCC and PLP feature vectors have 13 or 39 sizes per frame.

A hybrid FLDA-KNN algorithm was also performed using the FLDA and KNN classifiers. The DCVA was deeply tested for the first time in isolated word recognition. Besides, the hybrid new $(DCVA)_{PCA}$ and $(FLDA-KNN)_{PCA}$ algorithms were performed using PCA. The highest recognition rates of the DCVA and FLDA-KNN were obtained 74.4% and 71.28%, respectively. On the other hand, $(DCVA)_{PCA}$ and $(FLDA-KNN)_{PCA}$ classifiers were better results than DCVA and FLDA-KNN classifiers. The highest recognition rates for $(DCVA)_{PCA}$ and $(FLDA-KNN)_{PCA}$ were 79% and 84.9%, respectively. Also, the correlation distance measure gave the best results for FLDA-KNN.

CNN and RNN-LSTM, machine learning algorithms, gave better results than subspace methods. The highest recognition rates for RNN-LSTM and CNN are 93.21% and 87.56%, respectively. For RNN-LSTM, the best recognition rate was found using 39-dimensional PLP feature vectors. KNN and SVM, other machine learning algorithms, gave 86.51% and 77.78%, respectively. Especially for KNN, it was observed that the correlation distance criterion gave better recognition results than Euclidean. While CNN and RNN-LSTM gave high recognition rates for all feature vectors, subspace methods gave better results, especially for low-dimensional MFCC₁₃ and PLP₁₃ feature vectors. These results showed that the RNN-LSTM and CNN gave more satisfactory recognition rates than other classifiers. When the experimental results were examined, it was seen that the distance criterion to be used significantly affected the recognition rates.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Data Availability Statements: The datasets and codes used in the current study are available in the github repository,

<https://github.com/solaris3344/Hybrid-subspace-and-ML>

REFERENCES

- Abdel-Hamid, O., & Jiang, H. (2013, May). Fast speaker adaptation of hybrid NN/HMM model for speech recognition based on discriminative learning of speaker code. In 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (pp. 7942-7946). IEEE.
- Abu Alfeilat, H. A., Hassanat, A. B., Lasassmeh, O., Tarawneh, A. S., Alhasanat, M. B., Eyal Salman, H. S., & Prasath, V. S. (2019). Effects of distance measure choice on k-nearest neighbor classifier performance: a review. *Big data*, 7(4), 221-248.
- Akyazi, Ö., Şahin, E., Özsoy, T., & Algül, M. (2019). A Solar Panel Cleaning Robot Design and Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 343-348.
- Anggraeni, D., Sanjaya, W. S. M., Nurasyidiek, M. Y. S., & Munawwaroh, M. (2018). The implementation of speech recognition using mel-frequency cepstrum coefficients (MFCC) and support vector machine (SVM) method based on python to control robot arm. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 288, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.
- Beigi, H. (2011). Speaker recognition. In *Fundamentals of Speaker Recognition* (pp. 543-559). Springer, Boston, MA.
- Belhumeur P. N., Hespanha J. P., Kriegman D. J., "Eigenfaces vs fisherfaces: Recognition using class specific linear projection," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 19, No:7, pp. 711-720, 1997.
- Bharali, S. S., & Kalita, S. K. (2015). A comparative study of different features for isolated spoken word recognition using HMM with reference to Assamese language. *International Journal of Speech Technology*, 18(4), 673-684.
- Cevikalp Hakan et al., "Discriminative common vectors for face recognition", *Pattern Analysis and Machine Intelligence IEEE Transactions on* 27, vol. 1, pp. 4-13, 2005.
- Dokuz, Y., & Tüfekci, Z. (2020). A Review on Deep Learning Architectures for Speech Recognition. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 169-176.
- Filho, G. L., & Moir, T. J. (2010). From science fiction to science fact: a smart-house interface using speech technology and a photo-realistic avatar. *International journal of computer applications in technology*, 39(1-3), 32-39.
- Furui, S., Kikuchi, T., Shinnaka, Y., & Hori, C. (2004). Speecho-to-text and speech-to-speech summarization of spontaneous speech. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 12(4), 401-408.
- Gaikwad, S. K., Gawali, B. W., & Yannawar, P. (2010). A review on speech recognition technique. *International Journal of Computer Applications*, 10(3), 16-24.
- Garcia, C. I., Grasso, F., Luchetta, A., Piccirilli, M. C., Paolucci, L., & Talluri, G. (2020). A comparison of power quality disturbance detection and classification methods using CNN, LSTM and CNN-LSTM. *Applied Sciences*, 10(19), 6755.
- Gulati, A., Qin, J., Chiu, C. C., Parmar, N., Zhang, Y., Yu, J., ... & Pang, R. (2020). Conformer: Convolution-augmented transformer for speech recognition. *arXiv preprint arXiv:2005.08100*.
- Gulmezoglu, M. B., Dzhafarov, V., Keskin, M., & Barkana, A. (1999). A novel approach to isolated word recognition. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 7(6), 620-628.
- Gulmezoglu, M. B., Edizkan, R., Ergin, S., & Barkana, A. (2005, May). Improvements on isolated word recognition using FLDA. In *Proceedings of the IEEE 13th Signal Processing and Communications Applications Conference*, 2005. (pp. 703-706). IEEE.
- Gunal, S., & Edizkan, R. (2008). Subspace based feature selection for pattern recognition. *Information Sciences*, 178(19), 3716-3726.
- Haque, M. A., Verma, A., Alex, J. S. R., & Venkatesan, N. (2020). Experimental evaluation of CNN architecture for speech recognition. In *First international conference on sustainable technologies for computational intelligence* (pp. 507-514). Springer, Singapore.
- Imtiaz, M. A., & Raja, G. (2016, November). Isolated word automatic speech recognition (ASR) system using MFCC,

- DTW & KNN. In 2016 asia pacific conference on multimedia and broadcasting (APMediaCast) (pp. 106-110). IEEE.
- Keser, S., & Edizkan, R. (2009, April). Phonem-based isolated Turkish word recognition with subspace classifier. In 2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference (pp. 93-96). IEEE.
- Kolossa, D., Zeiler, S., Saeidi, R., & Astudillo, R. F. (2013). Noise-adaptive LDA: A new approach for speech recognition under observation uncertainty. *IEEE Signal Processing Letters*, 20(11), 1018-1021.
- Lalitha, S., Mudupu, A., Nandyala, B. V., & Munagala, R. (2015, December). Speech emotion recognition using DWT. In 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC) (pp. 1-4). IEEE.
- Miao, F., Zhang, P., Jin, L., & Wu, H. (2018, August). Chinese news text classification based on machine learning algorithm. In 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC) (Vol. 2, pp. 48-51). IEEE.
- Mohan, B. J. (2014, January). Speech recognition using MFCC and DTW. In 2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE) (pp. 1-4). IEEE.
- Muhammad, H. Z., Nasrun, M., Setianingsih, C., & Murti, M. A. (2018, May). Speech recognition for English to Indonesian translator using hidden Markov model. In 2018 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys) (pp. 255- 260). IEEE.
- Myers, Jerome L.; Well, Arnold D. (2003). *Research Design and Statistical Analysis* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum. pp. 508. ISBN 978-0-8058-4037-7.
- Najkar, N., Razzazi, F., & Sameti, H. (2010). A novel approach to HMM-based speech recognition systems using particle swarm optimization. *Mathematical and Computer Modelling*, 52(11-12), 1910-1920.
- Palaz, D., & Collobert, R. (2015). Analysis of cnn-based speech recognition system using raw speech as input (No. REP_WORK). Idiap.
- Palaz, D., Magimai-Doss, M., & Collobert, R. (2019). End-to-end acoustic modeling using convolutional neural networks for HMM-based automatic speech recognition. *Speech Communication*, 108, 15-32.
- Passricha, V., & Aggarwal, R. K. (2020). A hybrid of deep CNN and bidirectional LSTM for automatic speech recognition. *Journal of Intelligent Systems*, 29(1), 1261-1274.
- Permanasari, Y., Harahap, E. H., & Ali, E. P. (2019, November). Speech recognition using dynamic time warping (DTW). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1366, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.
- Seltzer, M. L., Yu, D., & Wang, Y. (2013, May). An investigation of deep neural networks for noise robust speech recognition. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 7398-7402). IEEE.
- Sivaram, G. S., Nemala, S. K., Mesgarani, N., & Hermansky, H. (2010). Data-driven and feedback based spectro-temporal features for speech recognition. *IEEE Signal Processing Letters*, 17(11), 957-960.
- Song, Y., Huang, J., Zhou, D., Zha, H., & Giles, C. L. (2007, September). Iknn: Informative k-nearest neighbor pattern classification. In *European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery* (pp. 248-264). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Song, K. T., Han, M. J., & Wang, S. C. (2014). Speech signal-based emotion recognition and its application to entertainment robots. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 37(1), 14-25.
- Soucy, P., & Mineau, G. W. (2001, November). A simple KNN algorithm for text categorization. In *Proceedings 2001 IEEE international conference on data mining* (pp. 647-648). IEEE.
- Soujanya, M., & Kumar, S. (2010, August). Personalized IVR system in contact center. In 2010 International Conference on Electronics and Information Engineering (Vol. 1, pp. V1- 453). IEEE.
- Speech commands dataset version 2 (2018). [Online]. Available:http://download.tensorflow.org/data/speech_commands_v0.02.tar.gz
- Srisuwan, N., Phukpattaranont, P., & Limsakul, C. (2018). Comparison of feature evaluation criteria for speech

- recognition based on electromyography. *Medical & biological engineering & computing*, 56(6), 1041-1051.
- Sumit, S. H., Al Muntasir, T., Zaman, M. A., Nandi, R. N., & Sourov, T. (2018, September). Noise robust end-to-end speech recognition for bangla language. In *2018 international conference on bangla speech and language processing (ICBSLP)* (pp. 1-5). IEEE.
- Székely, G. J., Rizzo, M. L., & Bakirov, N. K. (2007). Measuring and testing dependence by correlation of distances. *The annals of statistics*, 35(6), 2769-2794.
- Tan, K., & Wang, D. (2018, September). A Convolutional Recurrent Neural Network for Real-Time Speech Enhancement. In *Interspeech* (Vol. 2018, pp. 3229-3233).
- Tan, T., Qian, Y., Hu, H., Zhou, Y., Ding, W., & Yu, K. (2018). Adaptive very deep convolutional residual network for noise robust speech recognition. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 26(8), 1393-1405.
- Tokuda, K., Yoshimura, T., Masuko, T., Kobayashi, T., & Kitamura, T. (2000, June). Speech parameter generation algorithms for HMM-based speech synthesis. In *2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings* (Cat. No. 00CH37100) (Vol. 3, pp. 1315-1318). IEEE.
- Wahyuni, E. S. (2017, November). Arabic speech recognition using MFCC feature extraction and ANN classification. In *2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)* (pp. 22-25). IEEE.
- Yang, L., & Chen, S. (2014). Linear discriminant analysis with worst between-class separation and average within-class compactness. *Frontiers of Computer Science*, 8(5), 785-792.
- Yavuz, H. S., Çevikalp, H., & Barkana, A. (2006). Twodimensional CLAFIC methods for image recognition. In *2006 IEEE 14th Signal Processing and Communications*
- Zhang, S. X., & Gales, M. J. (2012). Structured SVMs for automatic speech recognition. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 21(3), 544-555.

Kalsine Edilmiş Injana Formasyonu Kiltaşının (Geç Miyosen), Pozolanik Aktivitesinin Değerlendirilmesi- Orta Irak
Evaluation Of Pozzolanic Activity Of Calcined Injana Formation Claystone (Late Miocene) - Central Iraq

Abed İbrahim Mohammed Mohammed¹, Zeynel Başibüyük^{2*}, Mohammed Kareem Abed³, Gökhan Ekincioglu⁴, Serdar Korkmaz⁵

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

^{2*} Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bağbaşı Kampüsü, Türkiye

³ Al-Furat Al-Awsat Teknik Üniversitesi, Irak

⁴⁻⁵ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu, Kaman Yerleşkesi, Türkiye

ÖZET

Dünya nüfusundaki sürekli artışa paralel olarak çimentoya olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Çimento üretiminden kaynaklı ortaya çıkan CO₂ emisyonunu azaltma gerekliliği doğmuştur. Bu çalışmada, Irak'ın Kerbela ve Necef şehirleri civarındaki Geç Miyosen yaşlı Injana Formasyonu'nun kiltaşları 600 °C ve 800 °C' de kalsine edilerek pozolanik aktivitesi araştırılmıştır. Kalsine edilmiş kil taşları, Irak bölgesi portland çimentosu ile ağırlıkça %5 %10, %15 ve %20 oranlarında ikame edilerek çimento harç örnekleri elde edilmiştir. Hazırlanan çimento harç örneklerinin 3, 7, 28 ve 56 günlük kür süreleri sonucunda basınç dayanımlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen basınç dayanımı değerleri dikkate alınarak kalsine edilmiş kil taşı ikameli çimento harçları için optimum kalsinasyon sıcaklığı ve optimum ikame oranı ortaya konmuştur. Ayrıca kiltaşının 800 °C' de kalsine ederek ağırlıkça %5 oranlarında ikame edildiğinde en yüksek basınç dayanımı değerlerini verdiği; %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikame edildiğinde 60 MPa üzeri basınç dayanımı verebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Kil, Pozolanik Aktivite, Tek Eksenli Basınç Dayanımı

ABSTRACT

In parallel with the continuous increase in the world population, the need for cement is increasing day by day. There is a need to reduce CO₂ emissions from cement production. In this study, claystones of the Late Miocene aged Injana Formation in the vicinity of Karbala and Najaf cities of Iraq were calcined at 600 °C and 800 °C and their pozzolanic activity was investigated. The calcined clay stones were substituted with Iraqi Portland cement at 5%, 10%, 15% and 20% by weight and cement mortar samples were obtained. The changes in the compressive strength of the prepared cement mortar samples after 3, 7, 28 and 56 days of curing time were investigated. Considering the compressive strength values obtained, the optimum calcination temperature and optimum substitution ratio for cement mortars with calcined clay stone substitution were determined. Moreover It has also been determined that clay stone can be substituted for cement by calcining it at 800 °C in proportions of 5%, 10%, 15% and 20% by weight..

Keywords: Cement, Clay, Pozzolanic Activity, Uniaxial Compressive Strength

Başvuru: 28.11.2023 Son Revizyon: 20.12.2023 Kabul: 22.12.2023

Doi: 10.51764/smutgd.1394609

¹ E-mail: abidibrahim1972@gmail.com; ORCID: 0009-0004-84728038

^{2*} Sorumlu yazar E-mail: zbasibuyuk@ahievran.edu.tr; ORCID: 0000-0003-2845-148X

³ E-mail: mohammed_k1965@atu.edu.iq; ORCID: 0000-0001-8690-6118

⁴ E-mail: gekincioglu@ahievran.edu.tr; ORCID: 0000-0001-9377-6817

⁵ E-mail: skorkmaz@ahievran.edu.tr; ORCID: 0000-0002-4247-3813

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yerleşik hayata geçtiği günden günümüze kadarki zaman içerisinde yapı yapım tekniği ve malzeme kullanımı açısından sürekli bir gelişme içerisinde. Eski dönemlerde doğal yapı taşlarının hâkim olduğu yapıların (Önal vd.,2017; Başbüyük vd., 2019; Alkan vd., 2022) yerini, betonun keşfi ile hızla beton almış ve günümüzde de yapı sektöründeki en yaygın kullanılan malzemesi olmuştur. Beton talebindeki bu artışa paralel olarak betonun en önemli bileşeni olan çimentoya olan ihtiyaç her geçen gün katlanarak devam etmektedir. Çimento üretimindeki çevresel zararlı etkiler (yüksek CO₂ emisyonu vb.) ve üretim maliyeti gibi nedenler son zamanlarda çimento ikamesi olarak kullanılacak malzemelerin (yüksek fırın cürufu, silis, kil vb.) puzolonik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmaları arttırmıştır (Malhotra, 1993; Öner vd., 2005; Nath ve Sarker, 2011; Jafari & Rajabipour, 2021). Puzolonik özelliğe sahip bu malzemelerin belirli oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılabilir oldukları birçok araştırmacı tarafından ortaya çıkarılmıştır (Malhotra, 2002; Thomas, 2007; Muhammad vd., 2021; Sharma vd., 2021).

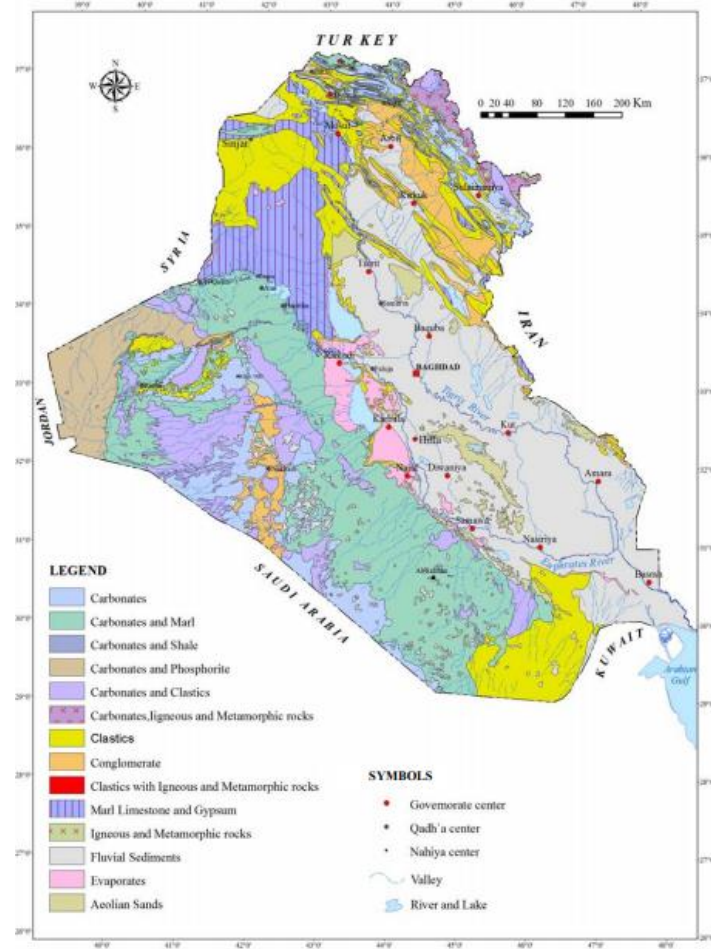
Kil/kiltaşı çimento üretiminin hammaddelerindedir. Bu nedenle puzolanik özellik göstermesi beklenebilir. Çimento üretiminde kullanılan hammaddeler aynı zamanda çimento kalitesini de etkilemektedir. Kiltaşının kimyasal ve mineral yapısının yanında rutubet içeriği çimento üretimi için son derece önemlidir. Yüksek rutubet özellikleri gösteren kiltaşları çimento üretimindeki kırma ve öğütme süreçlerinde problemler oluşturabilmektedir (Korkmaz, 2021). Özellikle mevsimsel farklılıklar nedeniyle nem içeriğinin değişken olması üretim süreçlerinde aksaklıklar oluşturabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı kilin hammadde olarak kullanıldığı çimento üretiminde kuru sistem üretim yöntemine geçilmiştir (Kuleli, 2010).

Kiltaşının önemli fiziksel özelliklerinden birisi de kolay öğütülebilir olmasıdır. Çimento üretiminde enerji tüketimi etkilerinin araştırıldığı çalışmada kalker, mermer artığı, tras, alçıtaşı, kiltaş ve klinker malzemeleri üzerinde yapılan öğütülebilirlik testleri sonucunda en kolay öğütülebilen malzeme kiltaş olmuştur. (Korkmaz, 2020).

Çimentoya alternatif malzemelerin ve çimento kullanımını azaltmaya yönelik çalışmaların yapıldığı günümüzde yukarıda bahsedilen özellikleri nedeniyle kiltaşının puzolanik özelliklerinin belirlenmesi gerekliliği görülmüştür. Bu çalışmada, Irak'ın Kerbela ve Necef şehirleri arasında bulunan Geç Miyosen yaşlı Injana Formasyonu'nu kiltaşına 600 °C ve 800 °C' kalsinasyon uygulaması yapılmış olup puzolanik özellikleri değerlendirilmiştir.

2. JEOLJİ

İnceleme sahası Orta Irak'ta evaporit ve akarsu litolojilerinin bulunduğu Kerbela ve Necef illeri arasındaki bölgededir (Şekil 1). Bu bölgede Geç Miyosen yaşlı Injana Formasyonu bulunmaktadır (Awadh vd., 2013). Injana Formasyonu kıyı ve kıyıya yakın, ağırlıklı olarak akarsu ortamında biriken karbonat bakımından zengin kumtaşları, silt taşları ve kil taşlarından oluşan kırıntılı bir formasyonla karakterize edilir (Al-Banna 1982; Al-Juboury 1994; Al-Juboury, 2009). Injana Formasyonunun çökeltilerinde bulunan yaygın kil mineralleri arasında illit, kaolinit, klorit, paligorskit ve karışık katmanlı klorit-smektit ve/veya illit-smektit bulunur (AlJuboury 1994, AlJuboury 2009).



Şekil 1. Irak jeoloji haritası (Sissakian and Al-Khalidi, 2012; Al-Jiburi and Al-Basrawi, 2015)

3. MATERYAL VE METOT

İnceleme sahasındaki kil taşlarını temsil eden üç bölgeden (ilk istasyon $K32^{\circ}14'67''K$ ve $D44^{\circ}16'31''D$ 'de, ikinci istasyon ise $K32^{\circ}4'18''K$ ve $E44^{\circ}17'50.835''D$ 'de ve üçüncü istasyon $K31^{\circ}59'55.284''K$ ve $E44^{\circ}18'4.570''D$ 'de yer almaktadır) örnek alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Araziden örnek alımı

Araziden alınan örnekler üzerinde Şekil 3' de gösterilen kırma ve öğütme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kırma ve öğütme işlemleri sonrası puzolanik özellikleri araştırılacak olan kıltaşı çimento inceliğine yakın bir incelik değeri olan 75 mikronluk elekten elenmiştir.



Şekil 3. Kırma, öğütme ve eleme işlemleri

Toz haline getirilen kıltaşının mineral bileşimini belirlemek için, X-ışını kırınımı (XRD), jeokimyasal içeriklerini belirlemek amacıyla X-ışını floresans spektrometre (XRF) analizleri gerçekleştirilmiştir. 75 μm ' lik elekten elenen kıltaşı tozları 600 °C ve 800 °C' de ısıtılma tabii tutulmuştur (Şekil 4). İstenilen sıcaklığa ulaşmak için kıltaşı tozu yavaş ısıtma hızında ısıtılmıştır. İstenilen sıcaklık seviyesine ulaşıldığında, kıltaşı tozu 1 saat boyunca 600 °C ve 800 °C sabit sıcaklıkta kalsine edilmiştir. Son işlem olarak kıltaşı tozu fırından çıkarılmış ve kullanılmadan önce 24 saat soğumaya bırakılmıştır. Soğuma ortamı kıltaşı tozunun ortam neminden etkilenmeyeceği ortamda oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Kül fırını

Kontrol harçları yanı sıra 600 °C ve 800 °C sıcaklıkta kalsinasyon uygulanan kilaşının %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikame edilerek hazırlanan çimento harç serileri hazırlanmıştır. Harç üretiminde, Irak'ta "Karasta" markasıyla üretilen Portland çimentosu (I) kullanılmış olup (Şekil 5) çimentonun teknik özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.



Şekil 5. Karasta portland çimentosu (OPC) tip (I)

Tablo 1. Kullanılan çimentoya ilişkin fiziksel ve mekanik özellikler

Fiziksel ve Mekanik özellikler	Birimi	Test sonuçları	Irak şartnamesi sınırları (No.5 1984)
Özgül yüzey (Blaine)	m ² /kg	335	≥230
Priz başlangıcı	dakika	128	≥45 dakika
Priz sonu	saat	6.51	≤ 10 saat
Basınç Dayanımı (3 gün)	N/mm ²	15,8	≥15
Basınç Dayanımı (7 gün)	N/mm ²	24,9	≤23

Çimento harçları 50×50×50 mm boyutlarında ASTM C109 standardına uygun kalıplar kullanılarak üretilmiştir. Üretilen çimento harçları 3,7,28 ve 56 günlük kür edildikten sonra basınç dayanımı testleri ASTM C109 standardına göre yapılmıştır. Deneylerde saniyede 0,6 MPa yükleme hızında 2000 kN kapasiteli Üniversal basınç makinesi kullanılmıştır (Şekil 6).

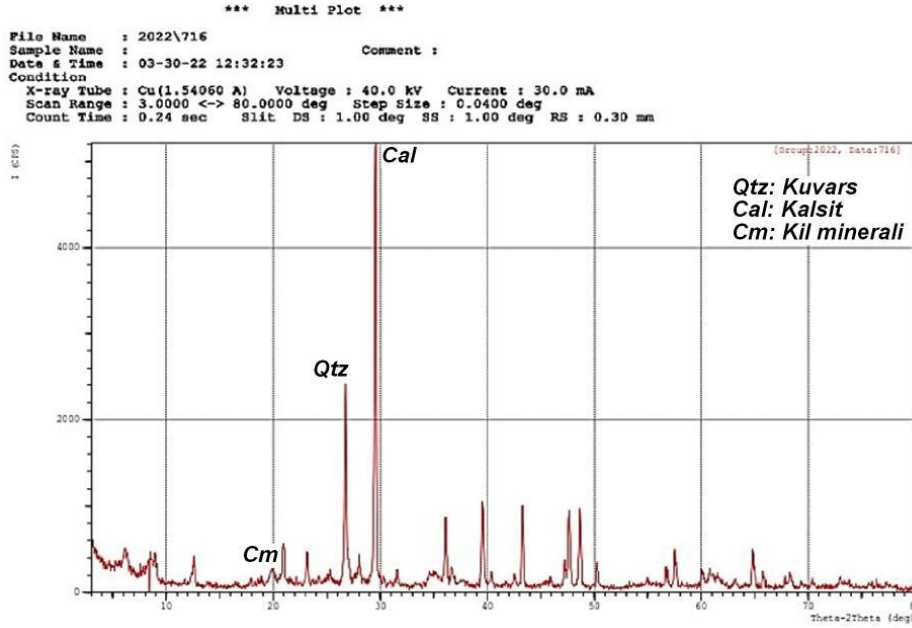


Şekil 6. Beton basınç dayanımı test cihazı görünümü

4. BULGULAR

4.1. XRD ve XRF Analizleri

Çalışmada araziden temin edilen örneklerin minerolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla XRD ve XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. XRD analizi sonucunda mununenin kil minerali, kalsit ve kuvarstan oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Kiltaşının XRD sonucu

Kil taşlarının XRF analizi sonucunda jeokimyasal bileşiminin % 42,55 SiO₂, % 15,52 CaO, % 10,60 Al₂O₃, % 5,68 Fe₂O₃, % 5,33 MgO, % 1,88 Na₂O, % 1,44 K₂O, %0,71 TiO₂, % 0,62 SO₃ ve % 0,10 MnO içerdiği belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Kiltaş'ının jeokimyasal değerleri

Kimyasal İçerik	(%)
SiO ₂	42,55
Al ₂ O ₃	10,60
Fe ₂ O ₃	5,68
CaO	15,52
Na ₂ O	1,88
K ₂ O	1,44
MgO	5,33
TiO ₂	0,71
MnO	0,10
SO ₃	0,62
L.O.I*	15,26

Tablo 2' de verilen değerler incelendiğinde kıltaşının $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (SAF) içeriğinin toplam içeriğin yaklaşık %60' ını (%58,83) oluşturduğu görülmektedir. CaO miktarı % 15,52 olarak ölçülmüştür. Kıltaşının jeokimyasal değerlerinde kızdırma kaybı değerinin (L.O.I) diğer puzolan türlerine göre yüksek çıktığı söylenebilir. Bu durumun kıltaşı ikameli örneklerin uzun süreli performanslarını olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

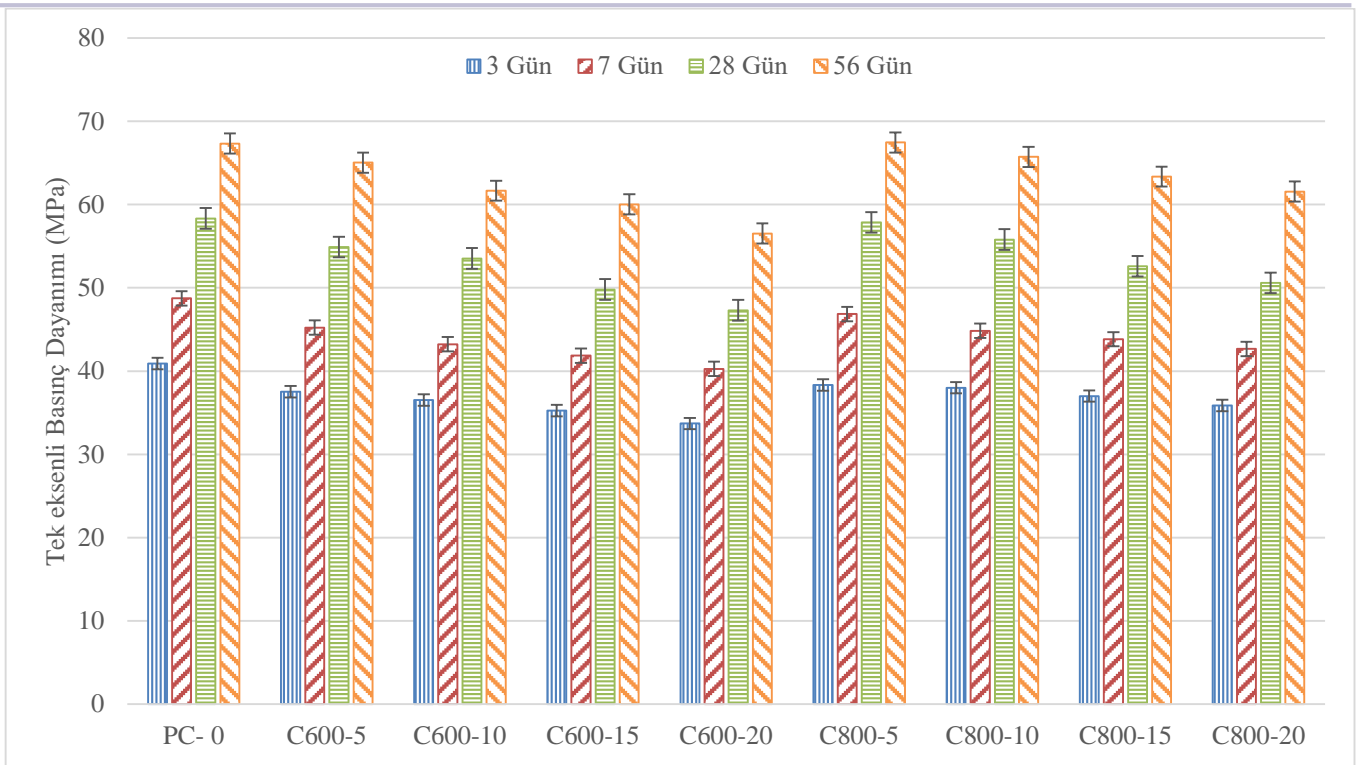
4.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

İki farklı kalsinasyon sıcaklığında elde edilen örneklerden aynı şartlar altında kontrol numuneleri ve %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile ikame edilen çimento harçlarının 3, 7, 28 ve 56 gün sonrasında tek eksenli basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen değerler Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Numune Kodu			Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)			
			Kür Süresi (Gün)			
Açıklama	Kodu	Kıltaşı ikame oranı (%)	3	7	28	56
Kontrol Numuneleri	PC- 0	0	40,90	48,73	58,33	67,33
600 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikamesi	C600-5	5	37,53	45,23	54,90	65,03
	C600-10	10	36,53	43,23	53,53	61,66
	C600-15	15	35,26	41,86	49,80	60,03
	C600-20	20	33,70	40,26	47,30	56,53
800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikamesi	C800-5	5	38,33	46,86	57,86	67,46
	C800-10	10	38,00	44,83	55,80	65,73
	C800-15	15	37,00	43,83	52,60	63,36
	C800-20	20	35,86	42,66	50,60	61,56

Tablo 3 incelendiğinde 3, 7 ve 28 gün kür edilen kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımlarının 3, 7 ve 28 gün kür edilen kontrol numunelerinden elde edilen basınç dayanımını geçemediği görülmektedir. Bu durum kıltaşı ikamesinin erken dönem basınç dayanımlarına olumlu etki etmediğini göstermektedir. Bu durum puzolanik özellik taşıyan malzemeler için benzerlik göstermektedir. Şekil 8' de çalışma kapsamında üretilen numunelere ait basınç dayanımı değerleri grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 8. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Şekil 8 incelendiğinde 56 gün kür edilen 800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli C800-5 kodlu numune serisinden en yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir. Kür süresi arttıkça kontrol numuneleri ve kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin tümünde basınç dayanımı artışı görülmüştür. Bu artış, hidrasyon işlemi sırasında oluşan hidrat fazlarının doğasından kaynaklanmaktadır. Kıltaşının kalsinasyon sıcaklığının 600 °C' den 800 °C' ye çıkartılması basınç dayanımına olumlu yansımıştır. 800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımları çalışma kapsamındaki tüm kür süreleri ve kıltaşı ikame oranlarında 600 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımlarından yüksek çıkmıştır. Ayrıca 800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin tümünde basınç dayanımları 60 MPa üzerinde değerler almıştır. Bu durum diğer kıltaşı ikame oranlarının da (%10, %15 ve %20) uygulama sürecinde kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Kıltaşının puzolan olarak çimento yerine ikame edilebilmek için 800 °C kalsinasyon uygulanması ve %5 oranında çimento yerine ikame edilmesi çalışma kapsamında optimum değerler olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında üretilen örneklerin tek eksenli basınç dayanımı analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. 56 gündeki basınç dayanımı katkı içermeyen örnek için PC-0 = 67,33 MPa; 600°C fırınlanmış örnekler için C600-5 = 65,03 MPa, C600-10=61,66 MPa, C600-15=60,03 MPa, C600-20=56,53 MPa; 800°C fırınlanmış örnekler için C800-5 = 67,46 MPa, C800-10=65,73 MPa, C800-15=63,36 MPa, C800-20=61,56 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında;

- İkame kil malzemesinin miktarının artmasına bağlı olarak basınç dayanımında bir düşüş gözlenmekle birlikte, kil malzemesinin fırınlanma derecesindeki 600 °C den 800 °C' ye artışın; ikame kilin kendi içerisinde kıyaslandığında beton dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında kalsine edilmiş İnjana formasyonu kıltaşının beton üretiminde çimento yerine ikame edilerek kullanılabilceği görülmüştür.
- 600 °C' ve 800 °C sıcaklıkta kalsine edilen ve çimento yerine %20 oranında ikame edilen kıltaşı tozu ile üretilen örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerleri 30 MPa' nın altına düşmemiştir. Bu veri dikkate alındığında inşaat sektöründe istenen C25-C30 asgari beton sınıfı dayanımlarının çimento yerine %20 oranında kalsine kıltaşı ikame edilerek üretilen betonlardan elde edilebileceği görülmüştür.
- 600°C ve 800°C sıcaklıklarda kalsine edilmiş kıltaşı ikamesi ile üretilen örneklerin 3, 7, 28 ve 56 gün kür sürelerinde elde edilen basınç dayanımları incelendiğinde 800 °C sıcaklıkta kalsine edilen %5 kıltaşı ikameli (C800-5) serinin kontrol numunesi basınç dayanımı değerini az da olsa geçtiği görülmektedir.
- 600°C ve 800°C sıcaklıklarda kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımları

karşılaştırıldığında 800 °C sıcaklıkta kalsine edilen kiltası içerikli örneklerin tüm kür sürelerinde daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduğu görülmektedir.

- 600°C sıcaklıkta kalsine edilmiş kiltası ikameli örneklerin basınç dayanımları tüm kür süreleri ve tüm ikame oranlarında 800°C sıcaklıkta kalsine edilmiş kiltası ikameli örneklerin basınç dayanımlarının %90 ve üzerinde basınç dayanımı değeri vermiştir. Bu veri dikkate alındığında kalsine sıcaklığı için 600°C' nin ekonomi/performans değerlendirmesinin daha olumlu olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler ışığında bölgedeki kil taşlarının beton üretiminde çimento yerine ikame edilmesi ile karışımlarda kullanılan çimento miktarının azaltılabileceğini görülmüştür. Buna bağlı olarak kalsine edilmiş kiltası kullanımı sayesinde çimento üretiminden kaynaklı CO2 emisyonunun azaltılması mümkün olabilecektir. Kiltasının doğadan temin edilen bir malzeme olması, kolay öğütülebilir olması ekonomik bir üretim fırsatı sunmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma ile değişken nem içeriklerine sahip olabilecek kiltasının öğütme, eleme ve kalsinasyon işlemleri sonucunda çimento yerine %20 oranlarına kadar ikame malzemesi olarak kullanılabilir olduğunu ortaya konulmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Al-Banna, N. Y. (1982). Sedimentological study of Upper Fars Formation in selected areas, north Iraq. *Unpublished M. Sc. thesis, University of Mosul, Iraq P, 177.*
- Al-Jiburi, H. K., & Al-Basrawi, N. H. (2015). Hydrogeological map of Iraq, scale 1: 1000 000, 2013. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 11(1), 17-26.*
- Al-Juboury, A. I. (1994). Petrology and provenance of the Upper Fars Formation (Upper Miocene), Northern Iraq. *Acta Geologica Universitatis Comenianae Bratislava, 50, 45-53.*
- Al-Juboury, A. I. A. (2009). The upper Miocene Injana (upper Fars) formation of Iraq: Insights on provenance history. *Arabian journal of geosciences, 2, 337-364.*
- Alkan Y., Gölbaş A., Ekincioglu G., Başbüyük Z., (2022). Orta Anadolu Arkeoloji, Antropoloji ve sanat Tarihi Araştırmaları/Engineering Properties of The Natural Building Blocks Used At The Karincali Byzantium Church (Kırşehir, Turkey) And Source Rock Identification (Kırşehir-Turkey), Myrina Yayınları.
- ASTM C109/C109M-02, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or 50 mm Cube Specimens)
- Awadh, S. M., & Awad, A. M. (2020). Manufacture of Portland cement from Late Miocene claystone, Injana formation, Central Iraq. *Arabian Journal of Geosciences, 13(19), 1008.*
- Awadh, S. M., Abood, Z. S., & Eisa, M. J. (2013). Chemical and physical control processes on the development of caves in the Injana Formation, Central Iraq. *Arabian Journal of Geosciences, 6, 3765-3772.*
- Başbüyük, Z., Ekincioglu, G., & Önal, M. M. (2019). Yozgat Sarıkaya Termal Roma Hamamı'nda Kullanılan Doğal Yapı Taşları ve Mühendislik Özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(1), 233-244.*
- Jafari, K., & Rajabipour, F. (2021). Performance of impure calcined clay as a pozzolan in concrete. *Transportation Research Record, 2675(2), 98-107.*
- Korkmaz, A. V. (2020). Hammadde ve klinker öğütülebilirliklerinin çimento üretiminde enerji tüketimine etkisinin araştırılması. *Scientific mining journal, 59(3), 169-181.*
- Korkmaz, A. V. (2021). Hammadde Rutubetinin Çimento Üretim Prosesine Etkisinin Araştırılması. *MT Bilimsel, (19), 33-49.*
- Kuleli, Ö., 2010, Çimento Mühendisliği El Kitabı, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara.
- Malhotra, V. M. (1993). Fly ash, slag, silica fume, and rice husk ash in concrete: A review. *Concrete International, 15(4), 23-28.*
- Malhotra, V. M. (2002). High-performance high-volume fly ash concrete. *Concrete International, 24(7), 30-34.*
- Muhammad, A., Thienel, K. C., & Sposito, R. (2021). Suitability of blending rice husk ash and calcined clay for the

production of self-compacting concrete: A review. *Materials*, 14(21), 6252.

Nath, P., & Sarker, P. (2011). Effect of fly ash on the durability properties of high strength concrete. *Procedia Engineering*, 14, 1149-1156.

Önal, M.M., Başbüyük Z., Gölbaş A. (2017). Antik Sarıkaya Termal Roma Hamamının Mimarisi ve Yapımında Kullanılan Doğal Yapı Taşları (Sarıkaya-YOZGAT). *II. Uluslararası Bozok Sempozyumu: Yozgat'ın Turizm Potansiyelleri ve Sorunları*, Yozgat Türkiye

Oner, A., Akyuz, S., & Yildiz, R. (2005). An experimental study on strength development of concrete containing fly ash and optimum usage of fly ash in concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1165-1171.

Sharma, M., Bishnoi, S., Martirena, F., & Scrivener, K. (2021). Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. *Cement and Concrete Research*, 149, 106564.

Sissakian, V. K., & Fouad, S. F. (2015). Geological map of Iraq, scale 1: 1000 000, 2012. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 11(1), 9-16.

Thomas, M. D. A. (2007). *Optimizing the use of fly ash in concrete* (Vol. 5420). Skokie, IL, USA: Portland Cement Association.