

Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

HAZİRAN-2023 6(1)

ISSN: 2651-3544

İçindekiler

Makale Adı	Makale Adı
1 Akıllı Cephelerin Sürdürülebilirliğe Etkisi: Türkiye ve Dünyadaki Örnekleri Mehmet ESGİL, Ruşen YAMAÇLI	8 Yeşil Çatı Uygulamalarının Yaygınlaştırılması: Organik Tarıma Elverişli Yeşil Çatı Gonca ÖZER, Elif Gizem YETKİN
2 Çağdaş Mimarlık Bağlamında Akıllı Yapı Malzemelerinin Kullanımının Araştırılması Aslı ÇÜÇEN, Adem SOLAK	9 A Comparative Of Construction Management Education In Civil Engineering Programs (Türkiye And Trnc Sample) Sarif Alaa Raheem ABUGELAL, Hakan ÇAĞLAR
3 Improvement Of Heat Conductivity Coefficient Of Fly Ash-Based Geopolymer Brick By Substitution Of Blast Furnace Slag Hussein Jasim Mohammed AL-HASANI, Hakan ÇAĞLAR, Arzu ÇAĞLAR	10 Application of Mastic Asphalt Using Rubber Added Modified Bitumen Salih ALUÇ, Adem AHISKALI
4 Analysis Of Building Reinforcement Method For Hasan Ali Yücel Elementary School In Kırıkkale Mays Raheem Hendi SHUJAİRİ, Hakan ÇAĞLAR	11 Simülasyon Destekli Örnek Bir Tasarım İle Döküm Hatalarının Engellenmesi Ve Maliyetlerin Düşürülmesi Erhan ÖZKAN
5 Süper Emici Polimer Katkılı Harçların Isıl İşlem ile Hava Küründe Mekanik Özellikleri Hasan DİLBAS, Furkan BİRDAL	12 Pamuklu Kumaşların Bitki Bazlı Gıda Boyaları İle Boyanabilirliğinin Araştırılması Çağla GÖKBULUT, Hülya KICIK
6 DeneySEL Mimarlık Üretiminde İnsansız Hava Araçlarının Rollerini Hakan İMERT	13 Karadeniz Bölgesi Yağış, Sıcaklık ve Rüzgar Hızı Parametrelerinin Homojenliklerinin ve Eğilimlerinin Değerlendirilmesi Aslı ÜLKE KESKİN, Gürkan KIR, Utku ZEYBEKOĞLU
7 Sürdürülebilir Mimarlıkta Pasif Evin Rolü Farida MAMMADOVA, Solmaz AHMADOVA, Ruşen YAMAÇLI	14 Tahıl Sapları Kullanılarak Oluşturulan Unsurların İç Mekân Tasarımına Yönelik İşlevsel Kullanımı İldem AYTAR SEVER, Anıl DUMAN

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:



Editör:

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Editör Yardımcısı:

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

Akıllı Cephelerin Sürdürülebilirliğe Etkisi: Türkiye ve Dünyadaki Örnekleri

The Effect of Smart Facades on Sustainability: Examples in Turkey and The World

Mehmet ESGİL, Ruşen YAMAÇLI
Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

Geliş Tarihi : 11.12.2022

Doi: 10.51764/smutgd.1217457

Kabul Tarihi : 02.01.2023

ÖZET

Binalar çok miktarda enerji tüketir ve çevreyi çeşitli şekillerde kirletirler. Günümüzde, çevre kirliliğinin ve enerji tüketiminin azaltılarak gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya bırakma arzusu sürdürülebilir mimarlığın önemini arttırmıştır. Sürdürülebilir mimarlık, yapılarda çeşitli şekillerde uygulanmaya çalışılmaktadır. Bu uygulamalardan bir tanesi de "akıllı cepheler"dir. Bu çalışmada "binanın iç sistemlerinden bağımsız, sadece akıllı cepheler ile sürdürülebilirlik ne ölçüde sağlanabilir?" sorusuna cevap bulmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; cephelerin "akıllı" olarak sayılabilmesi için ne gibi özelliklere sahip olması gerektiği ve bu özelliklerin sürdürülebilirliğe katkısı incelenmiştir. Daha sonra dünyadaki akıllı cephe örnekleri incelenerek, sürdürülebilirlik ilkelerine göre analiz edilmiştir. Ardından Türkiye'deki yaygın akıllı cephe sistemleri incelenerek, dünyadaki durum ile karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda sadece akıllı cephelerinde sürdürülebilirliği önemli ölçüde sağlayabileceği tespit edilmiştir. Dünyadaki durum göz önünde bulundurulduğunda Türkiye'deki akıllı cephe sistemlerinin enerji üretimi konusunda geliştirilmesi gerektiği ve dünyada da akıllı cephe sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Akıllı Cepheler, CO2 Emisyonu, Enerji Verimliliği, Güneş Işığı

ABSTRACT

Buildings consume a lot of energy and pollute the environment in various ways. Today, the desire to leave a more livable world to future generations by reducing environmental pollution and energy consumption has increased the importance of sustainable architecture. Sustainable architecture is tried to be applied in buildings in various ways. One of these applications is "smart facades". In this study, it is aimed to find an answer to the question "To what extent sustainability can be achieved with only smart facades, independent of the internal systems of the building?". In accordance with this purpose; What kind of features the facades should have in order to be counted as "intelligent" and the contribution of these features to sustainability were examined. Then, examples of smart facades in the world were examined and analyzed according to sustainability principles. Then, common smart facade systems in Turkey were examined and a comparative evaluation was made with the situation in the world. As a result of the study, it has been determined that it can provide sustainability to a significant extent only on its smart facades. Looking at the situation in the world; it has been suggested that smart facade systems in Turkey should be developed in terms of "energy production" and that the use of smart facade systems should be widespread in the world.

Keywords: Sustainability, Smart Facades, CO2 Emission, Energy Efficiency, Sunlight

1.GİRİŞ

İnşaat sektörü, tüm ülke ekonomilerinde en fazla enerjinin harcandığı sektörlerden birisidir. Bina bölümü de inşaat sektörünün en çok enerji gerektiren bölümü olarak kabul edilmektedir. Mevcut literatüre göre, bina bölümü harcanan toplam enerjinin %40'undan fazlasını, doğal kaynakların %30'unu, üretilen elektriğin %70'ini kullanır ve gelişmiş ülkelerdeki toplam sera gazının %30'undan fazlasının yayılmasına sebep olmaktadır. Binalar bu kadar çok enerji tüketirken, çevreyi de çeşitli şekillerde kirletir (Balali & Valipour, 2020). Cephe, hem enerji tüketimini azaltmada hem de olumsuz çevresel etkileri hafifletmekte bina mimarisinin önemli bir parçasıdır. Günümüzde sürdürülebilir mimarlığı sağlamak adına birçok farklı özelliklere sahip cepheler tasarlanmıştır. Bunların bazıları "akıllı cephe" olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak akıllı cephe; "çevresel etkilere, çeşitli fonksiyonları veya özellikleri ile yanıt vererek, yararlılık gösteren cepheler" olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada akıllı cephelerin sürdürülebilirliğe etkisi araştırılarak, günümüz teknolojisinde, akıllı cepheler ile sürdürülebilirliğin ne ölçüde sağlanabileceği incelenecektir. Bu doğrultuda; cephenin çeşitli etmenlerle ilişkisi irdelenerek, akıllı cephe sistemlerinin sürdürülebilir özelliklerine göre sınıflandırılması yapılacaktır. Bu sınıflandırmalarda çeşitli sistem ve akıllı cephelere sahip yapılar incelenecek, daha sonra bu yapıların sürdürülebilirliğe katkıları değerlendirilecektir.

2.CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLE İLİŞKİSİ

Sürdürülebilirlik, sürekli olmak, gelişmek ve yenilenebilir enerjiye uyum sağlamak demektir. Günümüzdeki çeşitli çevresel sorunlar mimaride sürdürülebilirlik kavramını önemli hale getirmektedir. Mimarlık, insan yaşamı ve gelişimi için daha iyi bir yaşam alanı oluşturmanın yanı sıra gezegenin doğasını ve kaynaklarını, küresel sürdürülebilir bir bakış açısıyla ele almakla ilgilidir (Li, 2011). Mimarlık özelinde sürdürülebilirlik; "çevreye verdiği zarar ve enerji tüketimi en az olan yapılar üretme", şeklinde tanımlanmaktadır (URL-1). Bu bağlamda; güneş ışığına doğrudan temas eden, dış mekan ile iç mekan arasında bariyer görevi gören, kısacası binanın çevreye bakan yüzü olan cepheler, yapılarda sürdürülebilirliği sağlamak adına önemli bir rol üstlenmektedir. Cephelerin sürdürülebilirlikte üstlendiği rolü anlayabilmek için cephenin belirli faktörlerle ilişkisinin irdelenmesi gerekmektedir. Bunlardan en önemlileri sıcaklık ve enerjidir:

1. Cephe - Sıcaklık ilişkisi; insanların konfor sıcaklığı 22°C ila 27°C arasındadır. Doğal şartlarda bu sıcaklığın sağlanması dünyanın çeşitli yerlerinde yılın belli bölümünde mümkündür. İnsanlar konfor sıcaklığının üstüne veya altına düştüğünde, uygun sıcaklığı yeniden sağlanması için soğutma veya ısıtma cihazları kullanır ve bu cihazlar enerji tüketimine sebep olmaktadır (Jalloul, 2020). Binayı sıcaklıklardan ve diğer faktörlerden korumak için cephede çeşitli sistemler kullanılmalıdır. Bu sayede cepheler binayı doğrudan güneş ışığı, rüzgar v.s. zararlı etkilerinden koruyarak, aşırı ısınma ve soğumayı engelleyebilmektedir. Ancak bu etkilerin bir veya birkaçı özelinde geliştirilen cepheler aksi bir iklim değişikliğinde işlevselliğinin kaybolmasının yanında ters etkiye oluşturabilmektedir. Bu nedenle cephe-sıcaklık ilişkisinde yapının cephesinin maruz kalacağı bütün iklim şartlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Tablo-1).
2. Cephe – Enerji ilişkisi; cephenin hava ve iklimdeki değişime uyum sağlaması ile birlikte enerji tüketiminde tasarrufu sağlayacak ve enerjiden yararlanılabilecek birçok özelliği de içerecek şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Cepheler, "Cephe-Sıcaklık" ilişkisi kısmında da değinildiği üzere iç sıcaklık çeşitli sistemler ile stabilize tutularak binanın enerji tüketimini azaltma konusunda yardımcı olabilmektedir (Jalloul, 2020). Ayrıca dış etmenlerde bina için enerji üretilmesine yardımcı olabilmektedir. Bu bağlamda cephede güneş ışığı ve rüzgar enerjisini, elektrik enerjisine dönüştürecek sistemler kullanılmalıdır (Tablo-1).

Yapılarda enerji ve sıcaklık faktörü göz önünde bulundurularak; iklimin olumsuz etkilerini avantaja çevirip enerji verimliliğini sağlamak ve karbon salınımını azaltarak çevre kirliliğini önlemek adına cephede çeşitli sistemler ve malzemeler kullanılmaktadır. Ancak akıllı sistem ve malzemelerin kullanıldığı cephelerde; sürdürülebilirliği tasarım ile birleştirme süreci uygulama aşamasında maliyetli olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir. Fakat uzun vadeli düşünüldüğünde sürdürülebilirliğin uygulanmasıyla enerji tüketiminde büyük bir düşüş sağlanacak ve bu durum rutin olarak diğer giderleri azaltacaktır. Bu da sürdürülebilir bir binanın toplam maliyetini, sürdürülebilir olmayan bir binadan daha düşük hale getirmesinin yanında gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir çevre bırakmaya katkı sağlayacaktır.

	KRİTERLER	ÇÖZÜMLER
CEPHE-SICAKLIK İLİŞKİSİ	<ul style="list-style-type: none"> - İç mekan sıcaklığı, kullanıcı konforunu sağlamak için 22°C–27°C arasında tutulmalıdır. - İç mekan sıcaklığı dengede tutularak doğal aydınlatma sağlanmalıdır. - Farklı iklim koşullarına dayanıklı çözümler üretilmelidir. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cephede, iç mekanı güneşin zararlı etkilerinden koruyacak, her türlü iklim koşuluna karşı dayanıklı gölgeleme ve yalıtım elemanlarının kullanılması
CEPHE-ENERJİ İLİŞKİSİ	<ul style="list-style-type: none"> - İç mekan ısı dengede tutularak, ısıtma-soğutma sistemleri için harcanacak enerjiden tasarruf edilmelidir. - Güneş ışığı, rüzgar enerjisi gibi kaynaklardan enerji üretimi sağlanmalıdır. 	<ul style="list-style-type: none"> - Güneş ışığı, rüzgar enerjisi gibi kaynaklardan enerji üretimi sağlanmalıdır. - Cephede güneş ışığı, rüzgar enerjisinden enerji üretebilecek sistemlerin kurulması

Tablo-1. Cephenin Kavramlarla İlişisindeki Kriterler ve Sürdürülebilir Çözümler

3.AKILLI CEPHELER

Akıllı cepheler genel olarak; "minimum enerji tüketimi ile optimum bir iç konfor sağlayan, dış ortam ile binanın içi arasında aktif ve duyarlı bir arabulucu" olarak tanımlanmaktadır (Böke, Knaack & Hummerling, 2019). Cephelerin çevresel sürdürülebilir etkisini de inceleyeceğimiz bu çalışmada, "Akıllı Cephe" tanımı ile "Çevresel koşullara cevap veren ve binaları daha etkin hale getiren yapı cepheleri"nden bahsedilmektedir. Bu tür cepheler kendi kendini ayarlayarak dış koşullara uyum sağlar, bu sayede enerji ihtiyacını minimum seviyede tutarken, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayarak konfor koşullarını sağlar. (Altın & Orhon, 2014). Çevresel uyaranlara yanıt verebilmesi için cephelerin belli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunlar:

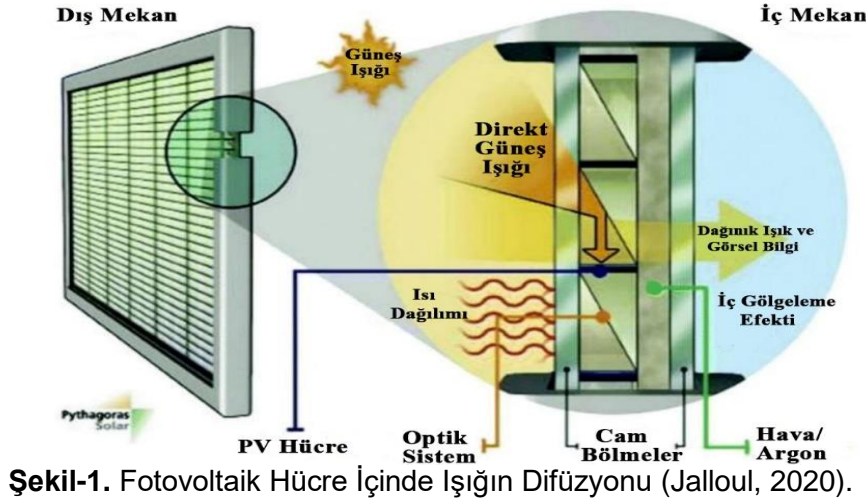
- "Akıllı" bir sisteme sahip olması,
- "Akıllı" malzemelerle üretilmiş olmasıdır (Altın & Orhon, 2014).

Bu iki kriter göz önünde bulundurulduğunda, cephelerin "akıllı" olarak nitelendirilmesi ve sürdürülebilirlik ile ilişkisi cephede kullanılan akıllı malzeme ve akıllı sistemler olarak iki başlık altında incelenecektir.

3.1. Cephelerde Akıllı Sistemlerin Kullanılması

Cephelerde kullanılan akıllı sistemler; "değişen dış ortam koşullarına cevap vererek mekân içerisinde kullanıcı konforu için gerekli ışık, ısı, ses ve hava kalitesini en üst seviyede sağlarken enerji tüketimini minimum seviyede tutabilen sistemlerdir." (Okumuş, 2020). Akıllı sistemlere örnek olarak iç mekanı güneş ışığının zararlı etkilerinden korumasının yanında, güneş ışığından enerji üretimi de sağlayan "fotovoltaik paneller" gösterilebilir.

Bu sistemde, gölgeleme cihazlarının cepheye yerleştirilmesi, güneşin doğrudan iç mekana girmesini engeller. Camın iç kısmına yerleştirilen fotovoltaik hücreler kırılmış güneş ışığının ısısını emer ve mekana sadece ışığın yayılmasını sağlar. Soğuk mevsimlerde ise; pasif koruma olarak, camın içine yerleştirilen izolasyon malzemesi iç mekandaki ısı kaybını önlemek için bir bariyer görevi görür ve çift veya üç camlı cepheler sıcaklıkları izole eder. Aktif bir koruma sistemi olarak ise; gerektiğinde camlı panellerin camları arasındaki mesafe iklimdeki farklılığa göre değiştirilebilir özelliğine sahiptir. Mesela, soğuk havalarda camların arasında bulunan gazın yoğunlaştırılarak daha sıcak hale getirilip, dışarıdan gelen soğuk havanın önlenmesi için camlar birbirine yaklaştırılır. Sıcak havalarda da bu durumun tam tersi uygulanır. Ayrıca panellerin verimliliğini arttırmak ve iç mekandaki sıcaklığı daha da azaltmak için camlar arasındaki boşluklara su püskürtülmektedir (Jalloul, 2020). Bu sistem ,herhangi bir sıcaklık değişimine karşı bariyer görevi üstlenmektedir, böylelikle sıcak ve soğuk havalarda binanın iç sıcaklığındaki aşırı değişimler önlenmektedir. Isıtma ve soğutma cihazlarının öncekine göre çok daha az bir yardımı ile konforlu bir sıcaklık elde etmek mümkün kılınmaktadır.



Şekil-1. Fotovoltaik Hücre İçinde Işığın Difüzyonu (Jalloul, 2020).

Fotovoltaik paneller, gün batımından sonra veya güneş ışığının etkisinin az olduğu yerlerde enerji üretimi konusunda yeterli verimi sağlayamamaktadır. Bu koşullarda da rüzgardan üretilecek enerji ön plana çıkmaktadır. Rüzgardan enerji üretimi konusunda, katlanabilir rüzgar türbinlerini ele alacak olursak, bu sistem şekil-2'de görülen türbinlerin cepheye yerleştirilerek rüzgardan enerji üretme esasına dayanır. Türbinler katlanabilirlik özelliği sayesinde aşırı hava koşullarından korunmak ve gereksiz zamanlarda görüntüsünü gizlemek amacıyla cepheye gizlenebilmektedir (Jalloul,2020). İhtiyaç duyulduğunda da tekrar açılıp rüzgar tribünü haline gelerek, rüzgardan enerji üretimi sağlamaktadır.



Şekil-2. Katlanabilir Rüzgar Türbini (Jalloul, 2020).

Örneklerde de görüldüğü üzere değişen iklim koşullarına göre, farklı cephe sistemleriyle kullanıcı konforunun sağlanmasının yanında, enerji verimliliğinin sürekliliğini sağlamakta mümkündür. Bu sayede farklı yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla enerji elde edilebilmektedir. Bu da enerji verimliliğinin büyük ölçüde sağlanıp, binalardaki karbon salınımını azaltarak sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

3.2. Cephelerde Akıllı Malzemelerin Kullanılması

Akıllı malzemeler çevresel uyarılara yapısındaki çeşitli değişimlerle cevap veren malzemelerdir. Çevresel uyarılar durduğunda eski haline dönen bu malzemeler, aynı işlemi birçok kez gerçekleştirebilmektedir. Akıllı malzemeler; hava kirliliğinin önlenmesi, iç mekân konforunun ve enerji verimliliğinin sağlanması gibi pek çok yönden sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Ayrıca sürdürülebilirliğin malzeme ölçeğinde sağlanması tasarım aşamasına da esneklik katmaktadır. Akıllı malzemeler özelliklerine göre 3'e ayrılmaktadır.

3.2.1.Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Malzemeler, çevresinden gelen dış uyarılardaki bir değişikliğe doğrudan yanıt vermek amacıyla, bir veya daha fazla özelliğinde (kimyasal, elektriksel, manyetik, mekanik veya termal) değişikliklere uğramaktadır. Bir malzemeye enerji girişi, malzemenin mikro yapısını değiştirerek malzemenin iç enerjisini etkilemekte ve bunun sonucunda malzemenin özelliğinin değişmesine sebep olmaktadır (Mohamed, 2017). Özellik değiştiren akıllı malzemeler, çevresel uyarılara; renk ve optik özelliklerinde veya adezyon özelliğinde yaptığı değişimlerle yanıt verebilmektedir (Kayılı, 2020).

Renk ve optik özelliklerini değiştirebilen akıllı malzemeler; sıcaklık, basınç, ışık, elektrik veya manyetik alan ve/veya kimyasal etkiler gibi bir veya daha fazla uyarana bağlı olarak rengini ve/veya optik özelliklerini değiştiren malzeme ve ürünleri içerir (Ritter, 2007). Genellikle akıllı cam yapımında kullanılmaktadır (Kayılı, 2020). Bu malzemeler camlarda kullanıldığında güneşin zararlı etkilerinden iç mekanı koruyarak, görsel konforu sağlamanın yanında ısıtma-soğutma ve aydınlatma ihtiyacını düşürerek enerji gereksinimini azaltmaktadır.

Adezyon değiştiren akıllı malzemeler; yüzeye yapışma özelliğinde değişimler gösterebilen malzemelerdir. Bu malzemeler ışık ve sıcaklık gibi çevresel uyaranlar ile adezyon özelliğinde değişimler yapabilmektedir. Bu malzemelerin en yaygın olarak kullanılanı; TiO_2 'dir. TiO_2 boya ya da ince film tabakası şeklinde de yüzeye uygulanabilecek olup, UV ışığı altında yüzeyine tutunan kirleticileri, su ve karbondioksit parçalayabilmektedir (Kayılı, 2020). Bu özelliği sayesinde hem kendi kendini temizleyerek cephenin yüzeyini temiz tutmakta hem de hava kirliliğini önlemektedir.

3.2.2. Enerji Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

Enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler; çevresel uyaranlara yapısındaki enerji değişimi ile yanıt veren malzemelerdir. Bu malzemeler, sürdürülebilirlik kapsamında, enerji değişimi yapan ve elektrik üreten malzemeler olarak sınıflandırılabilir (Kayılı, 2020).

Elektrik üreten akıllı malzemeler; çevresel uyaranlar ile elektrik üretebilen malzemelerdir. Bu malzemelerden akıllı cephelerde yaygın olarak kullanılan çeşidi fotoelektrik malzemedir. Fotoelektrik malzeme şeffaf olması dolayısıyla cephelerde ve pencerelerde kullanılabilir (Kayılı, 2020). Bu malzemeler ile yüzeye gelen ışık enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülerek enerji verimliliği artırılmaktadır.

Enerji değişimi yapan akıllı malzemeler; çevresel uyaranlara karşı enerji değişimi sağlayan malzemelerdir. Yaygın olarak kullanılan faz değiştiren malzemelerdir. Bu tür malzemeler, faz değişimleri sırasında ortaya çıkan gizli ısının enerji depolama uygulamalarında kullanıldığı malzemelerdir (Kayılı, 2020). Belirli sıcaklıklarda maddelerde; katıdan sıvıya, sıvıdan gaz veya tam tersi bir faz değişimi meydana gelmektedir. Bu durumlarda, enerjinin emildiği veya salındığı yer, malzemenin bileşimine bağlı olarak tahmin edilebilmektedir. Faz değiştiren malzemeler kasıtlı olarak bu soğurma/ salma eylemlerinden yararlanmaya çalışmaktadır. Bu malzemeler, belli sıcaklıklara ulaşıldığında enerjiyi emme veya salma özelliği gösterebildiğinden, bir binadaki termal ortamla başa çıkmak amacıyla mimaride kullanılmaktadır (Addington & Schodek, 2005). Böylece, iç mekan konforunu sağlamanın yanında ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini de sağlamaktadır.

3.2.3. Madde Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

Akıllı malzemelerin madde alışverişinde bulunması ve maddeyi depolaması, farklı fiziksel ve/veya kimyasal işlemler gerektirmektedir. Madde alışverişinde bulunan akıllı malzemeler; bünyesine kattığı maddeyi tersinir özellikte katı, sıvı veya gaz bileşenleri şeklinde depolamakta veya serbest bırakabilmektedir (Ritter, 2007). Bu malzemeler iç mekan konforunu artırmasının yanında, atmosferik suyun depolanmasına da imkan sağlamaktadır.

4. AKILLI CEPHE ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

4.1. Dünyadaki Akıllı Cephe Örnekleri

Dünyada farklı özelliklere sahip pek çok akıllı cephe örneği bulunmaktadır. Bu çalışma da üç akıllı cephe çeşiti olan; "ısı kaybını ve kazancını dengeleyen", "enerji üreten", "kendini ve havayı temizleyen" akıllı cepheler, dünyadaki örnekleri üzerinden incelenecek, sürdürülebilirliğe katkıları ile ilgili bir değerlendirme yapılacaktır, değerlendirme sonucunda elde edilen veriler, sürdürülebilirlik ilkesine göre tablolandırılacaktır (Tablo-2).

4.1.1. Isı Kaybını ve Kazancını Dengeleyen Akıllı Cephe : Al Bahar Kuleleri

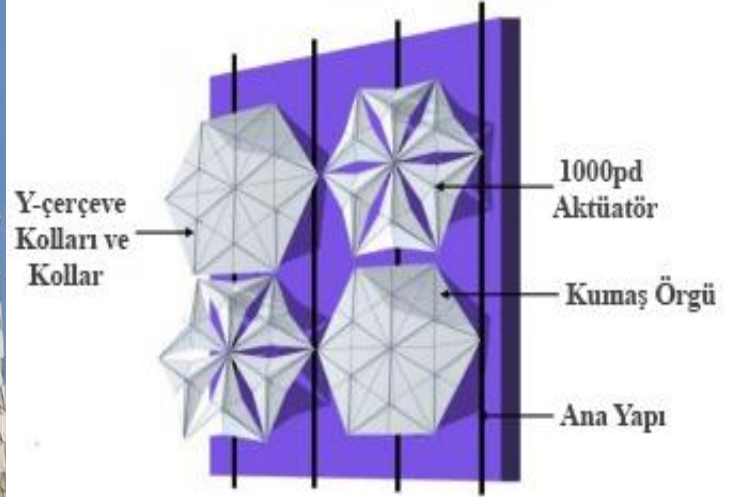
Abu Dabi'deki Al Bahar Kuleleri, 2012 CTBUH Ödülleri kapsamında, CTBUH Yenilik Ödülü'nün sahibi olmuş, ayrıca Orta Doğu ve Afrika'nın En İyi Yüksek Binası Finalisti olmuştur. Tasarımında öne plana çıkan özellikleri; yönlenme ve manzara, ısıyı emilen doğal dağınık güneş ışığının iç mekana alınması, güneşin zararlı etkilerinden korunma, kullanıcı konforu, inşa edilebilirlik, yüksek enerji verimliliği ve kültürel kimliğin tasarıma yansması olarak sayılabilir (Altın & Orhon, 2014). Al Bahar Kuleleri'nde gölgeleme için cephesine yerleştirilen hareketli elemanlar ve enerji üretimi için çatısına yerleştirilen paneller olmak üzere iki akıllı cephe sistemi bulunmaktadır.

Gölgeleme; bina bulunduğu konumda hakim olan çöl iklimi nedeniyle çok fazla güneş ışığına ve termal sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu soruna çözüm olarak, panellerin deforme olmaması ve görsel olarak tatmin edici olması gibi kriterler göz önünde bulundurularak, giydirmeye cepheye sabitlenebilen "Mashrabia" adında bir strüktür tasarlanmıştır. "Mashrabia" güneşin hareketlerine göre açılıp kapanabilme özellikleriyle iç mekanı güneşin istenmeyen etkilerinden koruyarak, gölgeleme oranını %80'e çıkartabilmektedir (Altın & Orhon, 2014). Bu cephe sistemi binanın tüm yüzeyine uygulanmayıp, bazı cepheler açık bırakılarak ve gölgeleme sistemindeki elemanın açılıp kapanabilir özelliği (Şekil-4) sayesinde yüksek oranda yapay aydınlatma gerektirmemektedir.

Enerji üretimi; binanın çatısına daima güneşe bakacak şekilde fotovoltaik hücreler yerleştirilmiştir. Çatıya yerleştirilen bu sistem ile binanın toplam elektrik ihtiyacının %5'i karşılanır (Jalloul, 2020). Gölgeleme için kurulan açılıp, kapanır sistem burada üretilen elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Gölgeleme ve enerji üretimi için kurulan bu iki sistem ile iç mekan konforunun sağlanmasının yanında, enerji tüketimi azaltılmakta ve enerji üretimi sağlanmaktadır.



Şekil-3. Cephedeki Gölgeleme Elemanları (URL-2).



Şekil-4. Mashrabia'nın Ayrıntılı Modeli (Habibi, Valladares & Pena, 2022).

- Cephe Sisteminin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi

Sistemin avantajları, parlamanın azaltılması, yeterli güneş ışığı alımı ile doğal aydınlatma sağlanarak, yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacın azaltılması, güneş ışınımının %50 azaltılması olarak sayılabilir ki böylelikle CO2 emisyonunda yılda 1750 ton azaltma sağlanmaktadır (Altın & Orhon, 2014). Bu sayede bina cephesindeki akıllı sistemler sayesinde karbon ayakzini azaltarak, sürdürülebilir bir bina olduğunu göstermektedir.

4.1.2. Enerji Üreten Akıllı Cephe : BIQ – Biyoreaktör Cephe Bina

Enerji üreten cepheler günümüze kadar güneş kolektörleri, fotovoltaik paneller, trombe duvarları gibi sistemler ve teknolojilerden yararlanılarak oluşturulsa da, günümüzde enerji üretimi için pek çok farklı cepheler tasarlanmaya başlanmıştır (Altın & Orhon, 2014). Bu cephe sistemine örnek olarak "Biyoreaktör Cephe Bina" incelenecektir.

2013 yılında bir mühendislik firması olan Arup, Uluslar Arası Yapı Fuarı'nın bir parçası olarak Almanya'nın Hamburg şehrindeki bir apartmanda ilk "biyoreaktör cepheyi" inşa etti. Binanın güneşe bakan cephelerine, içinde algler bulunan cam paneller yerleştirildi. Paneller gölgeleme elemanı olarak, paneller arasındaki algler ise cepheye gelen güneş ışığının yardımıyla besin üretmek için fotosentez yaparken harcadığı CO2 ve açığa çıkardığı ısı ile havayı temizleyen bir ısıtma elemanı olarak kullanılmaktadır (Altın & Orhon, 2014). SolarLeaf adı verilen bu cephe alglerin karbondioksiti parçalayıp, fotosentez yoluyla işlemesi ile yeşil bir görünüm kazanmaktadır. Bu yenilenebilir enerji üretim biçimi, binanın cephesine mimari konsepti yansıtmaktadır.

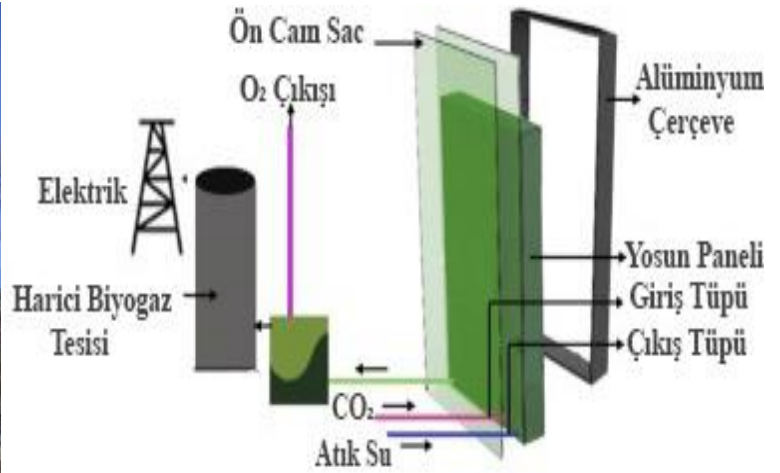
- Cephe Sisteminin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi

Gölgeleme ve iç mekan konforunun sağlanması, enerji tüketimini azaltma, biyokütle-yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı, karbon salınımının azaltılması, çevreye verilen zararın azaltılması şeklinde sayılabilir. Alglerden oluşan bu paneller, binanın tüm enerji ihtiyacını karşılarırken, karbon salınımını da yılda 6 ton azaltmaktadır (Altın & Orhon, 2014). Böylelikle BIQ binası cephesindeki paneller sayesinde enerji kaybı ve kazanımında artışa

geçerek, çevresine de yarar sağlaması bakımından sürdürülebilir bir bina olduğunu göstermektedir.



Şekil-5. BIQ (URL-3).



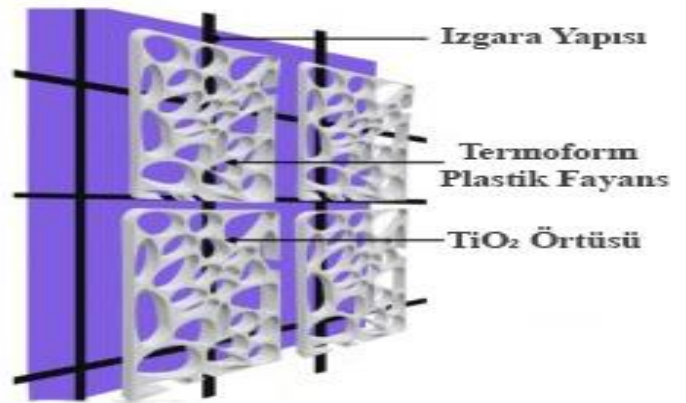
Şekil-6. BIQ Cephedeki Panel Detayı (Habibi vd. 2022).

4.1.3. Kendini ve/veya Havayı Temizleyen Akıllı Cephe :Manuel Gea Gonzalez Hastanesi – Duman Yiyen Cephe

Yapı, 1992 yılında Birleşmiş Milletler tarafından dünyanın en kirli kenti ilan edilen Mexico City’de bulunmaktadır (URL-4). Bu durum yapıyı, kendi kendini temizleyen bir cephe kurmak için ideal kılar. Aynı zamanda cephe, sadece kendini değil, etrafındaki yoğun hava kirliliğini de temizleyebilmektedir. Cephe, duman parçacıklarını yakalayan ve nötralize eden bir fotokatalitik madde olan çok ince bir TiO_2 (titanyum dioksit) kaplamasına sahip “Prosolve 370e” adı verilen karolardan oluşmaktadır (URL-5). Cepheye gelen UV ışını, cephedeki TiO_2 kaplamasının kirli hava ile tepkimeye girmesini sağlayarak, havadaki ve cephenin yüzeyindeki kirleticileri zararsız miktarda karbondioksit ve suya dönüştürmektedir (URL-6). Bu kimyasal reaksiyonda TiO_2 , katalizör olduğu için kendisi etkilenmez ve bu işlemi sayısız şekilde tekrarlayabilmektedir. Bu cephelere fotokatalitik cepheler denir (Altın & Orhon, 2014). Bu akıllı cephe önceki iki örnekten farklı olarak, akıllı sistemler yerine cephede akıllı kaplama malzemesinin kimyasal özellikleriyle hem kendini temiz tutup, hem de çevresindeki hava kirliliğini azaltmaktadır.



Şekil-7. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Cephesi (URL-7).

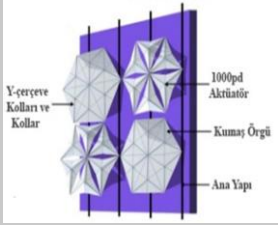
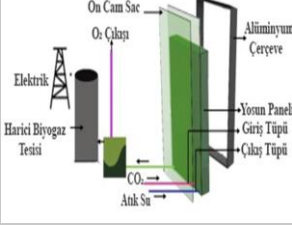
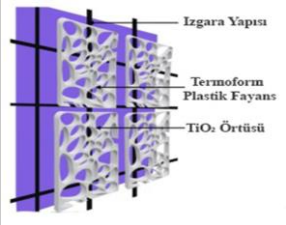


Şekil-8. Cephe Detayı (Habibi vd. 2022).

Binanın cephesi, sadece kaplama malzemesi değil, malzemenin hava ile daha fazla temas edebilmesi için yapılan tasarım ile de akıllı cephe özelliği gösterir. Tasarımın delikli, kademeli ve çok yüzeyli şekilde olması cephenin daha fazla yüzey alanına sahip olmasını ve dolayısıyla kimyasal reaksiyonunda daha büyük ölçekte gerçekleşmesini sağlamıştır. Cephe tasarımını gerçekleştiren firma eş-direktörü Daniel Schwaag’ın belirttiğine göre bu tasarım ile cephenin yüzey alanı %200 artmış ve aynı zamanda cephe bu geometri sayesinde her yönden gelebilecek ışınları da yüzeyle buluşturabilme imkanı sağlamaktadır (Altın & Orhon, 2014). Sürdürülebilirliği sadece malzeme ve akıllı sistem ölçeği ile sınırlı kalmayıp, sürdürülebilir tasarıma estetik açıdan da yaklaşmak, binanın daha büyük kitlelere ulaşarak, daha fazla kişiye ilham kaynağı olması, sürdürülebilir bir çevrenin oluşturulması açısından önemlidir.

- Cephe Sisteminin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi :

Fosil kaynaklı enerji tüketiminin sebep olduğu hava kirliliğini temizleme, çevreye verilen zararlı etkinin azaltılması, gölgeleme ve iç mekan konforunun sağlanması, binanın karbon salınımını azaltması şeklinde sayılabilir. Cephe, 2500 m²'lik alanıyla günde 1000 aracın sebep olduğu hava kirliliğini temizleyebilmektedir (Altın & Orhon, 2014). Böylelikle Manuel G.G. Hastanesi , cephesinde kullanılan akıllı malzeme sayesinde, gölgeleme ile kendi enerji tüketimini azaltıp, konumu itibariyle çevresinde bulunan yoğun hava kirliliğinin temizlenmesine katkı sağlaması bakımından sürdürülebilir bir bina olduğunu göstermektedir.

	AI Bahar Kuleleri Cehesi	BIQ Binası Cehesi	Manuel G.G. Hastanesi Cehesi
Bulunduğu Çevreye ve İklim Uyum Tasarım	 - Gölgeleme – iç mekan konfor koşulları	 - Gölgeleme – iç mekan konfor koşulları	 - Gölgeleme – iç mekan konfor koşulları
Enerjinin Korunumu	- %80 oranında gölgeleme ile soğutma sistemine ihtiyacı azaltılması, açılıp kapanabilmesi ile yapay ışık ihtiyacını azaltma	- Cam panellerin içindeki algler ile binanın tüm enerji ihtiyacının karşılanması	—
Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı	- Gölgelemedeki açık kapanabilir sistemin elektrik ihtiyacının çatıya yerleştirilen fotovoltaik panellerle sağlanması	- Biyokütle-yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı	—
Atık Yönetimi	—	- Karbon salınımının azaltılması	- Binaın karbon salınımını azaltması - Fosil kaynaklı yakıt tüketiminden oluşan hava kirliliğini temizleme, çevreye verilen zararın azaltılması
Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanımı	—	-Cephede kullanılan cam paneller	—

Tablo-2. Dünyadaki Örneklerin Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Değerlendirmesi

4.2 Türkiye'deki Akıllı Cephe Örnekleri

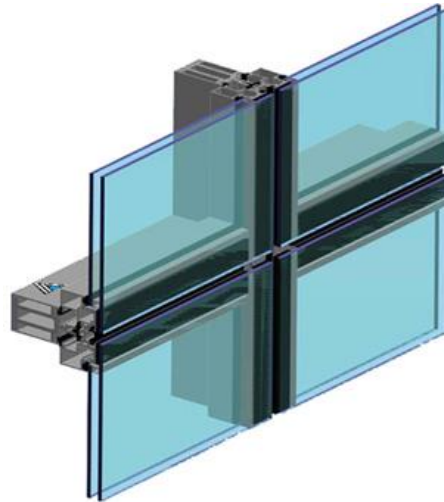
Türkiye'de cephelerdeki sürdürülebilirlik genel olarak akıllı camlar ile sağlanmaktadır. Bu bağlamda akıllı camların cepheye yerleştirilme şekillerine göre "tek tabakalı cephe sistemleri" ve "çift tabakalı cephe sistemleri" incelenecektir.

4.2.1. Tek Tabakalı Cephe Sistemleri: Giydirme Cepheler

Giydirme cepheler binanın taşıyıcı elemanlarına monte edilen, ankraj elemanları ve bu elemanlara sabitlenen alt konstrüksiyonlar ve cephe kaplama malzemelerinden meydana gelmektedir. Bu cephe sistemlerinde, cephe ile bina arasına boşluk bırakılır ve bırakılan bu boşluk ile hava sirkülasyonu ile birlikte kat aralarına yerleştirilen yalıtım malzemeleri ile ekstra yalıtım sağlamaktadır. Giydirmeye cephelerde kullanılan saydam malzemeler ile güneş ışığının içeri girmesi kolaylaştırılarak doğal aydınlatma sağlanmaktadır. Güneş ışığının zararlı etkilerinden korunmak için de cephenin iç ve dış kısmına yerleştirilen güneş kırıcılar kullanılmaktadır. Giydirmeye cepheler yapısal özelliklerine göre; "Izgara Konstrüksiyon" ve "Panel Konstrüksiyon" olmak üzere ikiye ayrılır. Türkiye'de tadilat ve bakımının kolay olmasından dolayı Izgara Konstrüksiyon (Çubuk Sistem) kullanılmaktadır. Panel Konstrüksiyon cepheler ise fabrikalarda üretilip, şantiyelere taşınmaktadır, kapalı sistem olduğu için maksimum geçirimsizliğe sahiptir (Sönmez & Kiasif, 2018). İstanbul'daki İş Bankası Genel Müdürlük Binası'nda "Panel Konstrüksiyon Cephe" uygulanarak, bu alanda yapıldığı dönem bakımından ilk örneği temsil etmektedir(Şekil-9).



Şekil-9. İş Bankası Genel Müdürlük Binası – Panel Sistem Örneği



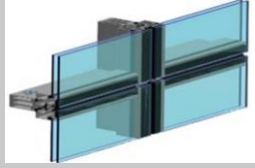

Şekil-10. Tek Tabakalı Giydirmeye Cephe Detayı

4.2.2.Çift Kabuklu Cephe Sistemleri

Çift kabuklu cephe sistemleri; iç katman, dış katman ve bu katmanlar arasındaki hava boşluğundan meydana gelmektedir. Bu tür cepheler sıcak iklimlerde aşırı ısınmayı, soğuk iklimlerde ise aşırı soğumayı önlemektedir. Cephe üzerindeki dış katman, iç katman ile arasındaki boşluğa; güneş ışığının girmesine izin vererek doğal aydınlatmayı, hava girişine izin vererek ise istenildiğinde iç katmandaki pencerenin açılması sonucu doğal havalandırmayı sağlamaktadır. Aynı zamanda dış mekandaki gürültü kirliliğinin de iç mekana girmesini önleyerek, kullanıcı konforunu sağlamaktadır. Pasif sistemler sayesinde mekanik sistemlerdeki enerji kullanımının azaltılması, binanın giderlerini düşürmekte ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (Sönmez & Kiasif, 2018). Bu cephe sistemine örnek olarak, bina yüksekliği boyunca devam eden çift kabuklu cepheden oluşan "Maslak No:1 Ofis Binası" gösterilebilir.



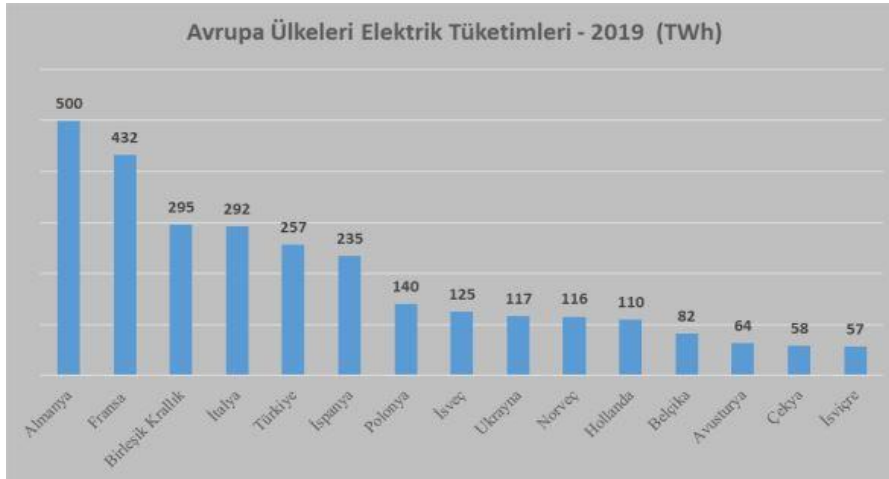
Şekil-11. Bina Yüksekliğinde Çift Kabuk Cephe Örneği Maslak No:1 Ofis Binası (URL-8).

	Tek Tabakalı Cephe Sistemleri 	Çift Kabuklu Cephe Sistemleri 
Bulunduğu Çevreye ve İklim Uyum Tasarım	- Cepheye içten ve dıştan monte edilebilen güneş kırıcılarla, güneş korunumunun sağlanması	- İç katman, dış katman arasındaki hava boşluğu gereksiz ısı kaybı ve kazancını önler. - İç katmandaki pencerenin açılması sonucunda doğal havalandırma sağlanır.
Enerjinin Korunumu	- Cepheye kullanılan saydam malzemelerle doğal aydınlatma sağlanması - Güneş kırıcılar ile gölgeleme	- İç katman, dış katman arasındaki hava boşluğu gereksiz ısı kaybı ve kazancını önler.
Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı	—	—
Atık Yönetimi	—	—
Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanımı	- Cepheye kullanılan camlar	- Cepheye kullanılan camlar

Tablo-3.Türkiye'deki Örneklerin Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Değerlendirmesi

4.3.Türkiye'deki Akıllı Cephelelerin Dünyadaki Örneklerle Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

- Türkiye'deki akıllı cephe uygulaması belirli malzemeler ve belirli sistemler ile sınırlı kalmıştır. Bu durum sürdürülebilirliğin birçok yönden sağlanması ve tasarım ile bütünleşmesi konusunda kısıtlamalar oluşturabilmektedir. Yurtdışındaki örneklerde ise akıllı cephelelerin enerji etkin özelliklerini tasarımla bütünleştirdiğini görüyoruz. Mesela Al-Bahar Kulelerindeki açıp kapanır sistemin oradaki yöreye uygun, estetik bir "Mashrabia" adındaki strüktür ile sağlanması, BIQ'da alglerin yaptığı fotosentez ile binanın cephesinin yeşillendirilerek, binanın tasarım konseptini yansıtmaması, Mea Gonzalez Hastanesi'nde havanın cephe yüzeyi ile daha fazla temas ederek tepkimeye girebilmesi için yüzey alanını arttırmaya yönelik yapılan tasarım ile binanın cephesinde estetik bir görüntü yakalanması sağlanmıştır.
- Balali ve Valipour; Birleşmiş Milletler 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi(SGD)'nden yararlanarak , akıllı malzemelerin seçimi konusunda 38 kriter belirlemiştir. Daha sonra 180 uzmana bu seçim kriterlerinden öncelikleri sorularak, Friedman Testi'ne göre bu önceliklerin puanlaması yapılmıştır. Bu puanlama sonucunda "enerji yenilenebilirliği" en önemli kriter olarak belirlenmiştir (Balali & Valipour, 2020). Ancak Türkiye'de uygulanan akıllı cephe sistemlerinde enerji üretimini arka planda tutup, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik bir eğilim vardır. Enerji kavramını elektrik üzerinden değerlendirecek olursak, TEDAŞ'ın 2019 verilerine(Tablo-4) göre Türkiye , Avrupa ülkeleri arasında elektrik tüketimi konusunda 5.sırada yer almaktadır. Bu bağlamda binalarda fotovoltaik cephe sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması sürdürülebilirliğin yanında ülke ekonomisine de ciddi katkılar sağlayacaktır.



Tablo-4. Avrupa Ülkelerinin Elektrik Tüketim Verisi – 2019 (URL-9).

5.SONUÇ

Dünyada kullanılan enerjinin büyük bir kısmı binaların yapım-işletim-yıkım süreçlerinde harcanmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji etkin akıllı sistemlerin kullanılması sürdürülebilir bir kalkınma için çok önemlidir. Bu çalışmada sürdürülebilirlik kapsamında akıllı cephelelerin etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Dünyadaki örneklerde de görüldüğü üzere; cephelere yerleştirilen fotovoltaik panel ve katlanabilir rüzgar türbinleri binanın ihtiyacı olan enerjiyi elde etmesinin yanında iç konforu da optimum değerde tutabilmekte; güneş kırıcı sistemler ve kaplamalı camlar yardımıyla iç mekandaki kullanıcıları rahatsız etmeden doğal aydınlatma sağlanabilmekte; yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyle doğal kaynaklardan elde edilen enerji gereksinimi minimuma indirilebilmektedir. Bu açıdan akıllı cephe sistemleri çevresel, sosyal ve ekonomik olmak üzere pek çok yönden sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.
- Akıllı cephelerdeki sürdürülebilirliğin artırılması için; cephede akıllı malzeme kullanımı önemlidir. Duman Yiyen Cephe örneğinde de görüldüğü üzere herhangi bir akıllı sisteme gerek kalmadan, cephede akıllı malzemelerin kullanılması ile cephenin kendisini temiz tutmasının yanında, çevresindeki hava kirliliğini de önleyerek çevresel katkı sağlayabilmesi mümkündür. Akıllı malzemenin seçiminde ise kriterlerin belirlenip, uzmanların fikirlerinin alındığında en önemli kriterin “enerji yenilenebilirliği” olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle akıllı malzemeler belirlenirken enerjinin kazanımı ön planda tutulmalıdır.
- Türkiye’deki akıllı cephe uygulaması ise yaygın olarak kullanılan iki sistem üzerinden incelenmiştir. İnceleme sonucunda sistemlerin; doğal aydınlatmayı sağlama, iç mekandaki ısının dengede tutularak ısıtma-soğutma ihtiyacının azaltılması, gürültü kirliliğinin önlenmesi, doğal havalandırma ile iç mekan konforunun artırılması gibi kriterler ile sürdürülebilirliği belirli bir ölçüde sağlayabilmektedir. Bu sistemler enerji kaybını ciddi anlamda önlesede enerjinin kazanımı konusunda yetersiz olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca akıllı cephelerde sınırlı sistem ve malzeme kullanımının, sürdürülebilirlik ile estetiğin birleştirilmesi konusunda tasarım sürecini kısıtlayacağı öngörülmektedir.

Sonuç olarak akıllı cepheler kendi başlarına, sürdürülebilirliği önemli ölçüde sağlamakta ve karbon salınımını önlemektedir. Gelecek dönemlerde akıllı cephenin gelişen teknoloji ile çeşitlilik kazanması, enerjiye ve sağlıklı bir çevreye duyulan ihtiyacın artması, sürdürülebilir özelliğinin yanında tasarıma da etkileri sebebiyle mimarlığın odak noktalarından birisi olacaktır. Bu bağlamda ülkemizde akıllı cephelerdeki akıllı malzeme ve akıllı sistem çeşitliliğinin artırılması ve enerji kaybının önlenmesinin yanında, enerji kazanımına da önem verilmesi gerekmektedir. Genel olarak ülkemizde ve dünyada sürdürülebilir mimarlığın sağlanabilmesi ve dünyanın daha yaşanılabilir bir yer haline getirilebilmesi için akıllı cephelere tasarımda daha çok yer verilmeli ve kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Addington, D. M., & Schodek, D. L. (2012). Smart materials and new technologies: for the architecture and design professions. Elsevier Press, New York.
- Altın, M., & Orhon, A. V. (2014). Akıllı yapı cepheleri ve sürdürülebilirlik. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 1-9.
- Balali, A., & Valipour, A. (2020). Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals. Sustainable Materials and Technologies, 26, e00213.
- Böke, J., Knaack, U., & Hemmerling, M. (2019). State-of-the-art of intelligent building envelopes in the context of intelligent technical systems. Intelligent Buildings International, 11(1), 27-45.
- Habibi, S., Valladares, O. P., & Peña, D. M. (2022). Sustainability performance by ten representative intelligent façade technologies: a systematic review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 52, 102001.
- Jalloul, H. (2020). Sustainable and adaptive architecture: rethinking the capabilities of cost-efficient intelligent facades in extreme climates. Beirut, Lebanon: Faculty of Architectural Engineering. Beirut Arab University.
- Kayıllı, MT (2020). Akıllı malzemelerin kamu yapılarında uygulama önerileri: Karabük örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (18), 805-817.
- Li, W. (2011). Sustainable design for low carbon architecture. Procedia Environmental Sciences, 5, 173-177.
- Mohamed, A. S. Y. (2017). Smart materials innovative technologies in architecture; towards innovative design paradigm. Energy Procedia, 115, 139-154.
- Okumuş, E.. (2020). Sürdürülebilir mimarlık kapsamında akıllı cephe sistemlerinin incelenmesi. Academic Perspective Procedia, 3 (1), 267-281. DOI: 10.33793/acperpro.03.01.54.
- Ritter, A. (2007). Smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhäuser Basel.
- Sönmez, B., & Kiasif, G. Ç. (2018). Çevresel, sosyal ve ekonomik bağlamda akıllı cephe sistemlerinin sürdürülebilir kalkınmaya etkileri. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1, 63-98.
- URL-1 https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir_mimari Erişim Tarihi: 24/11/2022
- URL-2 <https://igsmag.com/market-trends/super-tall-buildings/the-al-bahar-towers-shading-the-real-envelope/> Erişim Tarihi: 03/10/2022
- URL-3 <https://phys.org/news/2013-04-algae-powered-hamburg.html> Erişim Tarihi: 03/10/2022
- URL-4 https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/fighting-a-megacitys-pollution-with-mega-panels_o Erişim Tarihi: 29.12.2022
- URL-5 <https://www.iaacblog.com/programs/computational-design-hospital-manuel-gea-gonzalez-facade/> Erişim Tarihi: 11/12/2022
- URL-6 <https://www.sustainablebusiness.com/2014/07/green-technology-spotlight-biodynamic-cement-purifies-the-air-52421/> Erişim Tarihi: 11/12/2022
- URL-7 <https://makeasmartcity.com/2016/06/05/elegant-air-purification-in-construction/> Erişim Tarihi: 11/12/2022
- URL-8 <http://www.arkiv.com.tr/proje/maslak-no1-ofis-yapisi/5840> Erişim Tarihi: 02/12/2022
- URL-9 2021_Yili_Turkiye_Elektrik_Dagitimi_Sektor_Raporu.pdf (tedas.gov.tr) Erişim Tarihi: 25/11/2022

Çağdaş Mimarlık Bağlamında Akıllı Yapı Malzemelerinin Kullanımının Araştırılması

Researching the Use of Smart Building Materials in the Context of Contemporary Architecture

Aslı ÇÜÇEN, Adem SOLAK
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Doi: 10.51764/smutgd.1203403

Geliş Tarihi : 13.11.2022

ÖZET

Kabul Tarihi : 11.01.2023

Günümüzdeki teknolojik ilerlemelere paralel olarak yapı malzemesi sektöründe de gelişim görülmektedir. Yapı malzemeleri disiplinine günümüz teknolojisinin entegre edilmesiyle birlikte akıllı yapı malzemeleri kavramı ortaya çıkmıştır. Akıllı yapı malzemelerinin üretim sürecinin başlamasıyla beraber bu malzemeler çağdaş mimari uygulamalarda da sıklıkla tercih edilen yapı malzemeleri haline gelmiştir. Bu çalışmada, akıllı yapı malzemelerinin çağdaş mimarlık bağlamında ele alınarak değerlendirilmede bulunulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında akıllı yapı malzemeleri ve bu malzemelerin günümüz mimarisinde kullanılma durumu örnek yapılar üzerinden incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda; akıllı malzemelerin mimaride kullanılmasıyla birlikte geleneksel yapı malzemelerinden elde edilemeyen çözümlerin geliştirilmesini olanaklı kıldığı, yapılarda kullanıcı konforunu arttırmaya yönelik etki gösterdiği, kullanıldığı yapılarda enerji korunumunu sağladığı, yapıya sürdürülebilir nitelik kazandırdığı ve yapılardan beklenen performansın optimum düzeyde sağlanmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çağdaş mimarlık, Akıllı malzeme, Akıllı yapı malzemesi.

ABSTRACT

In parallel with today's technological advances, there is also a development in the building material sector. With the integration of today's technology into the building materials discipline, the concept of smart building materials has emerged. With the start of the production process of smart building materials, these materials have become the building materials that are frequently preferred in contemporary architectural applications. In this study, it is aimed to evaluate smart building materials in the context of contemporary architecture. Within the scope of the study, smart building materials and the use of these materials in today's architecture were examined through sample structures. As a result of the examination; It has been concluded that with the use of smart materials in architecture, it makes it possible to develop solutions that cannot be obtained from traditional building materials, influences increasing user comfort in buildings, provides energy conservation in the buildings where it is used, provides a sustainable quality to the structure and is effective in providing the optimum performance expected from the buildings.

Keywords: Contemporary architecture, Smart material, Smart building material.

1.GİRİŞ

İlk çağlardan itibaren her alanda ihtiyaç duyulan malzeme kavramı teknolojinin ilerlemesi ile birlikte dönem içerisinde sürekli gelişim göstererek mimari yapıtların şekillenmesinde de önemli yer tutan bir kavram olmaktadır.

Malzeme bilimi ve mimarlık ilişkisi incelendiğinde; malzemelerin formları, dokusal özellikleri ve yapısal nitelikleri ile mimari tasarımların şekillendirilmesinde doğrudan etkili olduğu görülmektedir. Genel anlamda yapı malzemelerinden; kullanıcı gereksinimlerini karşılayabilmesi, ekonomik, yerel kaynaklardan temin edilebilir, kaliteli, çevre dostu ve sürdürülebilir nitelikte olması beklenmektedir.

Günümüzdeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak yapı malzemesi alanında da ilerlemelerin görülmesi ile birlikte yenilikçi, kaliteli ve performansı yüksek yapı malzemelerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Temel, 2021; Yüksel Ayvaz, 2019). Bu çalışmaların bir sonucu olarak da akıllı yapı malzemeleri kavramı ortaya çıkmıştır.

Akıllı yapı malzemeleri kullanım ömrü boyunca faydalı ve kaliteli dönüşümler yaparak, kullanıcı konforunu ve yapısal performansın artırılmasını hedefleyen malzemelerdir. Bu malzemeler geleneksel malzemelere göre daha işlevsel olmasından dolayı günümüz mimarisinde de sıklıkla tercih edilen yapı malzemeleri haline gelmiştir.

Akıllı yapı malzemeleri ile ilgili literatürde yapılmış olan çalışmalar aşağıda verilmiştir;

Kayılı (2019) tarafından yapılmış olan çalışmada; akıllı yapı malzemelerinin kamu yapılarında kullanımının etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bazı kamu yapıları akıllı yapı malzemeleri ile yeniden kurgulanmıştır. Çalışma sonucunda ele alınan kamu yapıları üzerindeki yeni malzeme kurgulamaları sonucunda çıkan analizler ve görseller incelenmiş ve akıllı malzeme kullanımı ile yapıların işlevselliği, görsel algısı, ısı ve görsel konforu ile çevre koşullarına uyum ve enerji etkinliğinin artırılmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Özgönül Şensan (2019) tarafından yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasında; akıllı yapı malzemelerin sürdürülebilir mimarlıkta kullanımının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir mimarlık kavramlarını incelenerek mimarlıkta kullanılacak olan akıllı yapı malzemeleri belirlenmiş ve bu malzemelerin sürdürülebilirlik açısından yapılarda kullanımını araştırılmıştır.

Yüksel Ayvaz (2019) tarafından yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasında; akıllı malzemelerin türleri, özellikleri, tarihçesi, kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları incelenerek bu malzemelerin uygulama örnekleri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda akıllı malzemelerin farklı özelliklere sahip olduğu ve daha çok dış mekanda tercih edildiği, çeşitli malzemelerle birlikte uygulanabildiği, en yaygın kullanılan malzeme türünün adezyon değiştiren akıllı malzeme olduğu tespit edilmiştir.

Dobrescu (2021) yapmış olduğu çalışmasında, inşaat ve mimaride kullanılacak malzeme türlerinin genel perspektiften bakarak, yenilikçi teknikler ile üretilmekte olan akıllı yapı malzemelerinin mimaride kullanılabilirliğini geliştirecek önerilerde bulunmuştur.

Bu çalışmada; teknolojinin malzeme biliminde kullanımına örnek olan akıllı yapı malzemesi kavramı, çağdaş mimarlık bağlamında örnek mimari uygulamalar ışığında incelenmiştir.

2. AKILLI MALZEMELER

Akıllı malzeme kavramı en genel tanımıyla, bir malzemenin kimyasal, mekanik veya fiziksel etkiler gibi dış uyaranlara karşı reaksiyon göstererek kullanım ömrü boyunca işlevini kaybetmeden kullanılabilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Karalı, 2019; Temel, 2021).

Akıllı malzemelerin birden fazla çevresel etkiye karşı reaksiyon gösterebilmesi, reaksiyonu gerçek zamanda verebilmesi ve kendi kendine faaliyete geçerek çalışabilir olması gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir (Addington ve Schodek, 2005).

Akıllı malzemelerin; esnek, hafif ve korozif etkilere karşı dayanıklı olması, çağdaş mimari tasarımlara imkân verebilmesi, kullanıcı konforunu optimum oranda sağlayabilmesi, estetik ve işlevsel olması, geleneksel malzemelere oranla daha gelişmiş özelliklere sahip olması gibi avantajları bulunmaktadır.

Akıllı malzemelerin; özellik değiştiren akıllı malzemeler, enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler ve madde alışverişinde bulunan akıllı malzemeler olarak 3 ana grup altında sınıflandırılması mümkündür (Ritter, 2007; Özgönül Şensan, 2019).

2.1 Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Herhangi bir dış etki ile malzemenin şekilsel, fiziksel, optik ve mekanik özellikleri gibi bir veya daha fazla özelliklerinde değişim görülen ve uyarıcı etken ortadan kalktığında eski haline geri dönebilen malzemeler özellik değiştiren akıllı malzemeler olarak nitelendirilmektedir.

Özellik değiştiren akıllı malzemeler; şekil değiştiren malzemeler, renk ve optik özelliklerini değiştiren malzemeler ve adezyon değiştiren malzemeler olarak sınıflandırılabilir.

Şekil değiştiren akıllı malzemeler, ısı, ışık, manyetik ve elektriksel etki veya kimyasal etkiler gibi uyaranlara göre malzemenin şekilsel veya boyutsal özelliklerinde değişimler meydana gelen malzemelerdir (Abeer, 2017). Plastik deformasyona uğradıktan sonra uygun sıcaklık altında eski boyutsal özelliklerine dönebilen malzemeler olan şekil hafızalı alaşımlar şekil değiştiren akıllı malzemeler arasından en yaygın kullanım alanı bulan malzemelerdir.

Renk ve optik özelliklerini değiştiren malzemeler, ısı, sıcaklık, ışık gibi bir dış uyaran ile malzemenin optik özelliklerinde görülen değişimler nedeniyle malzeme üzerinde renk değişikliği olduğu algısı yaratan malzemelerdir. Bu tür malzemeler kromik malzeme olarak adlandırılmaktadır. Kromik malzemelerden renk ve optik özelliklerini ışık etkisi ile değiştiren malzemeler elektrokromik, ısı uyarıcısı ile değiştirenler termokromik, kimyasal tepkimeler sonucunda meydana gelen gaz etkisi ile gerçekleştiren malzemeler ise gazokromik malzemeler olarak nitelendirilmektedir (Kienl, 2002).

Kromik malzemeler çağdaş mimari tasarımlarda çoğunlukla cam teknolojisine entegre edilmiş şekilde kullanılmaktadır (Çakmaklı vd., 2015). Özellikle günümüzde kullanımı yaygınlaşan üzerine etkiyen ısı ve ışık gibi etkenler doğrultusunda renk ve optik özellikleri değişkenlik gösteren ve akıllı cam olarak nitelendirilen malzemeler kromik malzemelere örnek olarak gösterilebilmektedir.

Adezyon değiştiren akıllı malzemeler ise, ısı, ışık, elektriksel kuvvet gibi dış uyaranlar ile malzemenin katı, sıvı veya gaz bileşenlerinin atom veya molekülleri arasında adezyon değişikliği olan malzemelerdir. Adezyon değiştiren malzemelerden en sık kullanılan malzemenin Titanyumdioksit (TiO_2) olduğu bilinmektedir (Orhon, 2012). Titanyum dioksit kullanıldığı malzeme yüzeylerinde bulunan maddelerin ışık etkisi ile parçalanmasına yardımcı olmaktadır. Bu özelliği sayesinde malzemelerin ışık etkisi ile kendi kendini temizleme özelliği kazandırmaktadır. Bu nedenle çağdaş mimari tasarımlarda sıklıkla kullanılan malzemelerden biridir.

2.2 Enerji Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

Dış ortam ve malzeme yapısı arasında enerji alışverişinin gerçekleşmesiyle malzeme özelliklerinde değişimler görülen malzemeler enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler olarak tanımlanmaktadır.

Enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler elektrik üretebilen, enerji değişimi yapabilen ve ışığın yayılmasını sağlayabilen malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır.

Elektrik üretebilen malzemeler; dış kaynaklardan almış olduğu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren malzemelerdir. Bu tür malzemelere piezoelektrik ve piroelektrik malzemeler örnek olarak verilebilmektedir (Yüksel Ayvaz, 2019).

Piezoelektrik malzemeler, malzeme üzerine etkiyen herhangi bir mekanik kuvvet etkisiyle malzeme yapısında elektriksel gerilim oluşturabilme yetisi olarak tanımlanan piezoelektrik olayını kullanarak elektrik üretimi yapan malzemelerdir (Aslan, 2016). Piezoelektrik malzemelerden olan kurşun zirkonat titanat (ZT), baryum titanat ($BaTiO_3$) ve PVDF (polivinilidin florid) malzemeler en çok bilinen piezoelektrik malzemelerdendir (Ritter, 2007; Sevgi, 2009).

Piroelektrik malzemeler, malzemelerin ısıtılması ile malzeme yüzeyinde statik elektrik oluşturması olan piroelektrik olayı yardımıyla elektrik üretimi yapan malzemelerdir. Kuvars, turmalin, triglisin sülfat, PVDF (polivinilidin florid) ve kurşun zirkonat uygulamalarda sıklıkla tercih edilen piroelektrik malzemelerdir (Yazıcı vd., 2004; Abacı, 2018).

Enerji değişimi yapabilen malzemeler; dış etkiler ile bünyesinde enerji değişimi yapabilme özelliği gösteren malzemelerdir (Topal ve Arpacioğlu, 2020). Bu tür malzemeler ve güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürebilme yetisine sahip olan fotovoltaik malzemeler günümüz mimarisinde de özellikle dış cephe kaplamalarında yaygın kullanıma sahip malzemelerdendir.

Işık yayılımı yapabilen malzemeler; dış ortamdan almış olduğu enerjiyi radyasyon enerjisine dönüştürerek ışık yayılımı yapabilen malzemelerdir. Bu tür malzemeler, Kemolüminesans, Fotolüminesans, Elektrolüminesans olarak sınıflandırılmaktadır. Kemolüminesans malzemenin kimyasal reaksiyonlar sonucunda ışık yayması, Fotolüminesans malzemenin radyasyon enerjisi ile ışık yayması ve Elektrolüminesans ise malzemenin elektriksel akımına bağlı olarak ışık yayması durumu olarak tanımlanmaktadır (Baldawi, 2015).

2.3 Madde Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

Madde alışverişinde bulunan akıllı malzemeler madde depolayabilme ve tersinir olarak madde alıp verebilen malzemelerdir. Bu tür malzemeler çeşitli fiziksel veya kimyasal tepkimelerle maddeleri bileşenlerine ayırıp tekrar moleküllerin birbirine bağlanmasını gerçekleştirebilen ürünlerdir. Bu malzemelerden biri olan gaz ve su depolayabilen malzemeler günümüz uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ritter, 2007; Yağlı, 2019).

3. AKILLI YAPI MALZEMELERİNİN MİMARİDE KULLANIM ÖRNEKLERİ

3.1 San Raffaele Hastanesi

Mario Cucinella Architects tarafından tasarlanan binanın inşaa süreci 2021 yılında Milano'da tamamlanmıştır. 40.000 m² inşaat alanına sahip olan yapı, içerisinde 284 yatak kapasiteli hasta servisini, bilimsel araştırma ve klinik laboratuvarlarını barındıran uluslararası tanınırlığı olan sağlık ve eğitim kompleksidir. Dalgalı forma sahip olan bina cephesinde, yapının doğal ışıktan faydalanabilmesi ve dış mekan ile ilişki kurabilmesi amacıyla cam kaplama tercih edilmiştir. Cam kaplamaların üzeri açılıp kapanabilen seramik paneller ile kapatılmıştır. Seramik panel yüzeyleri yapıda ısı korunumunun sağlanabilmesi ve kirli hava partiküllerinin malzeme üzerinde parçalanıp cephenin temiz kalması için TiO₂ malzeme ile kaplanmıştır. Bu sayede yapının cephe kaplamalarının uzun yıllar bakım gerektirmeden kullanılabilirliği sağlanmıştır (URL- 1)

San Raffaele Hastanesi'nin genel görünümü ve yapının cephe detayı Şekil 1 (URL-2) ve Şekil 2'de (URL-3) gösterilmiştir.



Şekil 1. San Raffaele Hastanesi genel görünüm



Şekil 2. San Raffaele Hastanesi cephe detayı

3.2 Gateshead Milenyum Köprüsü

2001 yılında İngiltere'de inşa edilen köprü, Wilkinson Eye Architects tarafından tasarlanmıştır. 126 metre uzunluğa ve 800 ton ağırlığa sahip olan köprü, sadece yayalar ve bisiklet kullanıcılarının kullanımına olanak tanımaktadır (URL-4). Ayrıca köprü'nün deniz araçlarının geçişine de izin verebilmesi için açılır kapanır olarak tasarlanmıştır. Yapı, bu açılıp kapanma hareketini çelik konstrüksiyonun üzerine uygulanmış olan piezoelektrik

boya sayesinde yapabilmektedir. Piezoelektrik boya, yapıda elektrik potansiyelini kontrol altına alarak yapının strüktürel davranışının izlenmesinde kullanılmıştır (Yüksel Ayvaz, 2019). Yapı; yapım tekniği ve tasarımı ile 2005 yılında Uluslararası Köprü ve Yapı Mühendisliği Birliği - International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) tarafından verilen Olağanüstü Yapı Ödülü'nü (Outstanding Structure Award) almaya hak kazanmıştır.

Gateshead Milenyum Köprüsünün genel görünümü ve strüktürel davranışı Şekil 3 (URL-5) ve Şekil 4'te (URL-6) verilmiştir.



Şekil 3. Gateshead Milenyum Köprüsünün genel görünüm



Şekil 4. Gateshead Milenyum Köprüsünün açılma anı

3.3 Stavros Niarchos Kültür Merkezi

Renzo Piano Building Workshop tarafından tasarlanan ve 2016 yılında inşa süreci tamamlanan bina Atina'da yer almaktadır. Yapı; Yunanistan Ulusal Kütüphanesi ve Yunan Ulusal Opera binasını bünyesinde barındıran kültür ve eğitim merkezidir. Yapının elektrik ihtiyacının güneşten karşılanabilmesi için yapının en üstünde yer alan çatı kanopisinin üzeri fotovoltaik paneller ile kaplanmıştır. Bu fotovoltaik paneller yaklaşık olarak 10.000 m² alana sahip olup yapı için gerekli olan 2,5 megawattlık enerji üretebilme kapasitesine sahiptir (URL-7). Fotovoltaik güneş panelleri yapının enerji etkin bir yapı olmasını sağlamasının yanında aynı zamanda mekanik ve strüktürel bilgiyi doğayla bütünleştiren bir eser olmasında da etkili olmaktadır.

Stavros Niarchos Kültür Merkezi'nin genel görünümü ve yapıda kullanılmış olan fotovoltaik paneller Şekil 5 (URL-8) ve Şekil 6'da (URL-9) verilmiştir.



Şekil 5. Stavros Niarchos Kültür Merkezi genel görünüm

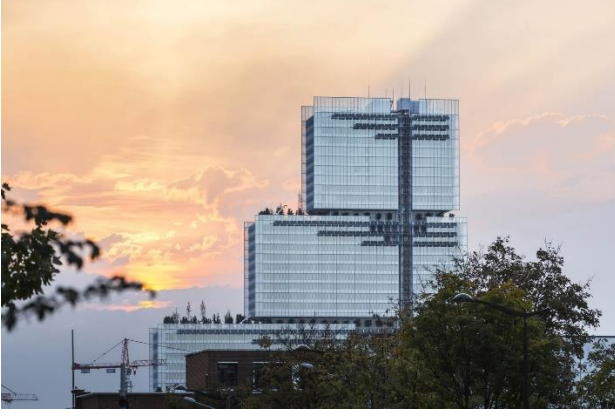


Şekil 6. Stavros Niarchos Kültür Merkezi fotovoltaik paneller

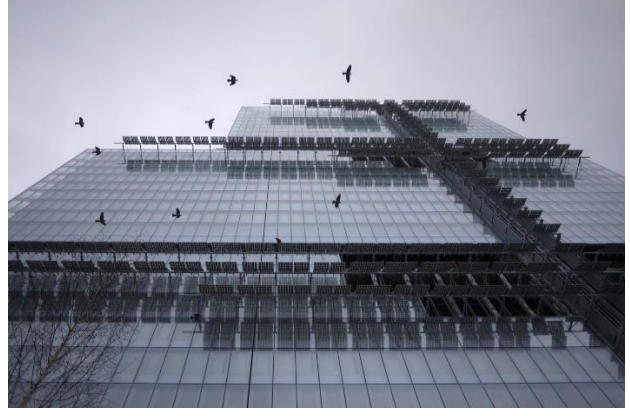
3.4 Paris Adalet Sarayı

2016 yılında inşa edilen bina Paris'in tüm yargı kurumlarını tek bir çatı altında toplamak amacıyla Renzo Piano Building Workshop tarafından tasarlanmıştır. Üst katlara doğru giderek küçülen dikdörtgen kütlelerden oluşan yapı 160 metre yüksekliğe sahiptir (URL-10). Yapının daralan formu ile yapı hem daha işlevsel hem de daha ferah mekan alternatifleri olan bir yapı haline gelmiştir. Yapının güneş enerjisinden faydalanması ve yapıda enerji korunumunun sağlanabilmesi amacıyla yapının cepheleri fotovoltaik paneller ile kaplanmıştır.

Paris Adalet Sarayı genel görünümü ve yapı cephesinde kullanılan fotovoltaik paneller Şekil 7 (URL-11) ve Şekil 8'de (URL-12) gösterilmiştir.



Şekil 7. Paris Adalet Sarayı genel görünüm



Şekil 8. Paris Adalet Sarayı fotovoltaik paneller

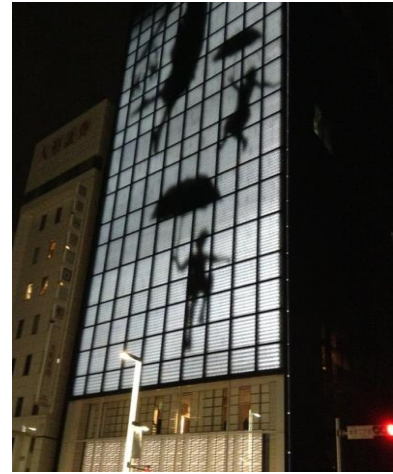
3.5 Tokyo Chanel Ginza Binası

Peter Marino tarafından tasarlanmış olan binanın inşa süreci 2004 yılında tamamlanmıştır. 10 katlı olarak inşa edilen bina, içerisinde butik mağazaları, sergi ve konser salonlarını, ofisleri ve yeme içme mekanlarını barındırmaktadır. Yapının cephesi geceleri medya ekranına dönüşebilmesi için akıllı malzemelerden biri olan ve üzerine etkiyen elektriksel kuvvete tepki olarak optik özelliklerini değiştirebilme yetisi olan elektro-optik camlar kullanılarak kaplanmıştır. Yapının cephesi üç adet katmandan oluşmaktadır. En dış katman, güneş ışığı kontrolünü sağlayabilen lamine camdan, orta katman elektro-optik özellikli cam katmandan ve en iç katman ise yapısına LED sistem entegre edilen cam katmandan oluşmaktadır (Orhon, 2013). Cephe, gündüzleri şeffaf bir görüntü sağlarken geceleri iç katmanda yer alan LED ışıkların çalışmaya başlaması ile elektro-optik camlar harekete geçmekte ve cephenin medya ekran haline gelmesi sağlanmaktadır. Elektro optik cam kullanımı ile yapının görsel etkisinin ve davetkarlığının artırılmasına katkı sağlanmaktadır.

Tokyo Chanel Ginza Binası'nın gündüz ve gece görüntüleri Şekil 9 (URL-13) ve Şekil 10'da (URL-14) verilmiştir.



Şekil 9. Tokyo Chanel Ginza Binası gündüz görünümü



Şekil 10. Tokyo Chanel Ginza Binası gece görünümü

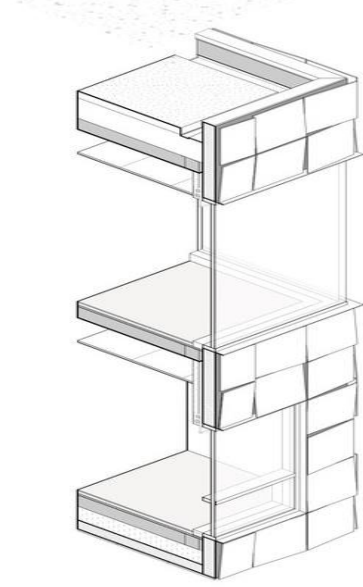
3.6 Copenhagen International School

C.F. Moller Architects tarafından tasarlanmış olan bina, 2017 yılında inşa edilmiştir. 25.000 m² kullanım alanına sahip olan bina bünyesinde 1200 öğrenci ve 280 çalışanın aynı anda kullanabileceği uluslararası bir eğitim merkezidir. Okul binasının cephesinde 1200 adet fotovoltaik panel yerleştirilerek binanın elektrik gereksiniminin güneşten karşılanması sağlanmıştır (URL-15).

Copenhagen International School binasının genel görünümü ve cephe detayı Şekil 11 (URL-16) ve Şekil 12'de (URL-17) verilmiştir.



Şekil 11. Copenhagen International School binasının genel görünüm



Şekil 12. Copenhagen International School binası cephe detayı

3.7 Bertram ve Judith Kohl Binası

Mimar Westlake Reed Leskosky tarafından tasarlanan binanın inşa süreci 2010 yılında tamamlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan yapı buradaki müzik konservatuarına sonradan eklenmiş ek yapı niteliğinde olan bir eğitim binasıdır. Yapının cepheleri alüminyum paneller ile örtülmüştür. Bu alüminyum panellerin bünyesine TiO₂ bileşeni eklenmesiyle birlikte panellere fotokatalitik özellik kazandırılmıştır (Orhon, 2014). Fotokatalitik özellik sayesinde yapının cephelerine güneş ışığı etkilemesi ile birlikte cephe üzerinde bulunan toz partiküller temizlenmektedir.

Bertram ve Judith Kohl Binası genel görünümü ve cephede kullanılan alüminyum paneller Şekil 13 (URL-18) ve Şekil 14'te (URL-19) gösterilmiştir.



Şekil 13. Bertram ve Judith Kohl Binası genel görünüm

Şekil 14. Cephede kullanılan alüminyum paneller

4. SONUÇ

Bu çalışmada akıllı yapı malzemeleri ve akıllı yapı malzemelerinin mimari uygulamalarda kullanımı araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda akıllı malzemelerin kullanımının günümüz uygulamalarında giderek yaygınlaştığı, bu malzemelerin yapılarda genellikle cephe kaplamalarında tercih edildiği, akıllı yapı malzemelerinin yapılarda çoğunlukla geleneksel yapı malzemeleriyle bir arada kullanıldığı, bu malzemelerin mimari uygulamalarda kullanılması ile birlikte enerji korunumunu sağlamada, kullanıcı konforunu artırmada, yapıdan beklenen performansın en iyi şekilde sağlanmasında ve yapıların modern, sürdürülebilir ve estetik bir görünüm kazandırılmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Günümüzde gelişim göstermeye devam eden teknoloji ile birlikte akıllı yapı malzemesi üretiminde de artış olacağı düşünüldüğünde akıllı yapı malzemelerini konu edinen çalışmaların ilerleyen süreçlerde de devam ettirilerek yeni tekniklerin geliştirilmesi önerilmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar, makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Abacı, VM. Piezoelektrik yamalı akıllı partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin serbest titreşim analizi ve aktif titreşim kontrolü. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, Türkiye, 2018.
- Abeer, S.Y.M. Smart materials innovative technologies in architecture: towards innovative design paradigm. Energy procedia 2017; 115,139-154
- Addington, M., & Schodek, D. Smart materials and new technologies for architecture and design professions. Harvard University, Architectural Press, Elsevier. New York, 2005.
- Aslan, H. Piezoelektrik malzemelerle asfalt yollarda elektrik enerjisi üretimi, 4. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Kasım 2016, Antalya, Bildiriler Kitabı, 1809-1816.
- Baldawi, M.T. Application of smart materials in the interior design of smart houses. Civil and Environmental Research 2015; 7(2), 1-15.
- Çakmaklı, B., Ateş Can, S. ve Muraçal, E. Deprem ve mimarlıkta kullanılan polimer malzemeler, Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Mayıs 2015, Burdur, Bildiriler Kitabı, 448-455.
- Dobrescu, L. A. From traditional to smart building materials in architecture. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2021; 1203(3), 032113.
- Karalı, C.H. Akıllı malzemelerin iç mimarlıkta kullanımı. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- Kienl, N. Evaluating dynamic building materials, Harvard University Doktora Tezi, Cambridge, 2002.
- Orhon, A.V. Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı, Ege Mimarlık 2012; 82,18-21.
- Orhon, AV. Akıllı yapı kabukları. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 17-20 Nisan 2013, İzmir.
- Orhon, AV. Kendini temizleyen cephe sistemleri. 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 3-4 Nisan 2014, İstanbul.
- Özgönül Şensan, Ö. Use of smart materials in the design of dynamic intelligent surfaces. The Graduate School of Social Sciences of Izmir University of Economics Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2019
- Ritter, A. Smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhause, Publishers for

Architecture. Almanya, 2007.

Sevgi, H. E. Piezoelektrik yamalı katmanlı kompozit bir kirişin titreşim analizi ve kontrolü, , İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2009.

Temel, S. Malzeme bilimindeki gelişmelerin mimarlık disiplini üzerine etkileri: akıllı malzemeler. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2021.

Topal, AS. ve Arpacıoğlu, Ü. Mimarlıkta akıllı malzeme. Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi 2020; 5(2), 241-254.

URL-1 San Raffaele Hastanesi [San Raffaele Hastanesi – Yapı Dergisi \(yapidergisi.com\)](http://yapidergisi.com) Erişim Tarihi: 26.09.2022.

URL-2 San Raffaele Hastanesi Genel Görünüm <https://yapidergisi.com/wp-content/uploads/2022/08/San-Raffaele-Hospital-ph-Duccio-Malaqamba-%C2%A9Mario-Cucinella-Architects-7-Medium.jpg> Erişim Tarihi: 26.09.2022

URL-3 San Raffaele Hastanesi Cephe Detayı <https://www.archdaily.com/981657/san-raffaele-hospital-mario-cucinella-architects/627a44023f79d9016595a6ad-san-raffaele-hospital-mario-cucinella-architects-facade-detail> Erişim Tarihi: 26.09.2022

URL-4 Gateshead Milenyum Köprüsü [Gateshead Milenyum Köprüsü - StructPedia](http://StructPedia) Erişim Tarihi: 01.10.2022.

URL-5 Gateshead Milenyum Köprüsü Genel Görünüm <https://decombo.com/wp-content/uploads/2019/11/unlu-kopruler-iliginc-kopru-tasarimlari-2.jpg> Erişim Tarihi: 01.10.2022.

URL-6 Gateshead Milenyum Köprüsünün Srtüktrel Davranışı https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Gateshead_millennium_bridge_open.jpg Erişim Tarihi: 01.10.2022.

URL-7 Stavros Niarchos Kültür Merkezi [Stavros Niarchos Kültür Merkezi / RPBW - Arkitektuel](http://RPBW - Arkitektuel) Erişim Tarihi: 10.10.2022.

URL-8 Stavros Niarchos Kültür Merkezi Genel Görünüm <https://www.arkitektuel.com/wp-content/uploads/2019/02/snfcc-18.jpg> Erişim Tarihi: 10.10.2022.

URL-9 Stavros Niarchos Kültür Merkezi Fotovoltaik Paneller https://www.arkitera.com/wpcontent/uploads/2016/09/RPBW_SNFCC_0515_135.jpg.jpeg Erişim Tarihi: 10.10.2022.

URL-10 Paris Adalet Sarayı [Paris Adalet Sarayı / Renzo Piano Building Workshop - Arkitektuel](http://Renzo Piano Building Workshop - Arkitektuel) Erişim Tarihi: 13.10.2022.

URL-11 Paris Adalet Sarayı Genel Görünüm https://images.adsttc.com/media/images/5a14/5b9f/b22e/38df/8800/001c/slideshow/photo-SG-2017-RPBW-palais_de_justice-paris17_IMP-A-08.jpg?1511283611 Erişim Tarihi: 13.10.2022.

URL-12 Paris Adalet Sarayı Fotovoltaik Paneller <https://images.adsttc.com/media/images/5a14/5bf7/b22e/385a/fe00/000b/slideshow/PJP.jpg?1511283699> Erişim Tarihi: 14.10.2022.

URL-13 Tokyo Chanel Ginza Binası Gündüz Görünümü <https://i.pinimg.com/originals/a5/8d/15/a58d15c81aa4feb1bd5dae3eb74e1a09.jpg> Erişim Tarihi:15.10.2022

URL-14 Tokyo Chanel Ginza Binası Gece Görünümü https://fastly.4sqi.net/img/general/600x600/7789792_V1Gsr_aLTdn1yDYSZRR0ftSFvsIZbUdKnpa0Wmh74Ms.jpg Erişim Tarihi: 15.10.2022

URL-15 Copenhagen International School Kopenhagen Uluslararası Okulu Nordhavn / C.F. Møller | ArchGünlük

URL-16 Copenhagen International School Genel Görünüm Copenhagen-International-School-Nordhavn-C-F-Moeller--img-60278-w1800-h775.jpg (1800×775) (cfmoller.com) Erişim Tarihi: 18.10.2022

URL-17 Copenhagen International School Cephe Detayı Facade-detail-solarcells_1-50.jpg (707×1000) (adsttc.com) Erişim Tarihi: 18.10.2022

URL-18 Bertram ve Judith Kohl Binası genel görünümü 07_OberlinKohl_454.010_Lehoux.jpg (1280×853) (adsttc.com) Erişim Tarihi: 23.10.2022.

URL-19 Bertram ve Judith Kohl Binası cephede kullanılan alüminyum panel görseli 02_OberlinKohl_454.060_Lehoux.jpg (678×1000) (adsttc.com) Erişim Tarihi: 23.10.2022

Yağlı, S. Teknolojik gelişmelerin etkisi ile yüzeylerde malzeme kullanımı: akıllı malzemeler., Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2019.

Yazıcı, EY., Alp, İ., Yılmaz, AO. ve Celep, O., 2004. Piezoelektrik teknoloji ve piezomalzeme olarak turmalin, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Mayıs 2004, İzmir, Bildiriler Kitabı, 279-285.

Yüksel Ayvaz, Ö. Akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanakları. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, Trabzon, Türkiye, 2019.

Uçucu Kül Bazlı Geopolimer Tuğlanın Yüksek Fırın Cürufu İkamesiyle Isı İletim Katsayısının İyileştirilmesi

Improvement Of Heat Conductivity Coefficient Of Fly Ash-Based Geopolymer Brick By Substitution Of Blast Furnace Slag

Hussein Jasım Mohammed AL-HASANI¹, Hakan ÇAĞLAR^{2*}, Arzu ÇAĞLAR³

¹Kırşehir Ahi Evran University, Institute of Science and Technology, Department of Advanced Technologies, Kırşehir

²Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kırşehir

³Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, Kırşehir

Doi: 10.51764/smutgd.1247965

Geliş Tarihi : 05.02.2023

ÖZET

Kabul Tarihi : 19.02.2023

Tarihin bilinen en eski malzemelerinden olan tuğla, zamanla gelişimini sürdürerek günümüze kadar gelmeyi başaran bir yapı malzemesidir. Teknolojinin gelişmesiyle tuğla sürekli revize edilmiştir. Son zamanlarda araştırmacılar, tuğla bünyesine atık malzemeler ikame ederek geopolimer tuğla üretimine yönelmiştir.

Bu çalışmada, uçucu kül bazlı geopolimer tuğlaya yüksek fırın cürufu ikamesinin ısı iletim katsayısına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, farklı oranlarda (%10, 30, 50 ve 70) yüksek fırın cürufu kil ile yer değiştirilmiştir. %20 oranında uçucu kül sabit tutulmuş, Alkali aktivasyon için 8 ve 10 M sodyum hidroksit, %4 ve %8 oranında kalsiyum hidroksit kullanılarak geopolimer tuğla üretimi yapılmıştır. Numunelere ısı iletim katsayısı tayini deneyi uygulanmıştır. Sonuç olarak; yüksek fırın cürufu, sodyum hidroksit ve kalsiyum hidroksit ikamesinin artmasıyla ısı iletim katsayısında azalma olduğu görülmüştür. En iyi sonuç, 0,26 W/mK ile %70 oranında yüksek fırın cürufu, 10 M sodyum hidroksit ve %8 kalsiyum hidroksitten üretilen tuğla numunelerinden elde edilmiştir. Bunun yanı sıra geopolimer tuğlanın endüstriyel atıkların bertaraf edilmesi için etkin bir yol olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek fırın cürufu, uçucu kül, geopolimer tuğla, tuğla

ABSTRACT

Brick, one of the oldest materials known in history, is a building material that has come up to the present day by continuing its development over time. However, with the development of technology, the brick has been continuously revised. Recently, researchers have turned to the production of geopolymer bricks by substituting waste materials into the brick structure.

In this study it is aimed to research the effect of blast furnace slag substitution on the heat conduction coefficient of fly ash-based geopolymer brick. In the study, blast furnace slag was replaced with clay in different proportions (10, 30, 50, and 70%). Furthermore, 20% of the fly ash was kept constant, 8 and 10 M of sodium hydroxide for alkaline activation, and 4% and 8% of calcium hydroxide were used to produce geopolymer bricks.

The heat conductivity coefficient determination experiment was applied to the samples. As a result, it was observed that the heat conductivity coefficient decreased with the increase of blast furnace slag, sodium hydroxide, and calcium hydroxide substitution. The best results were obtained from brick samples produced from 70% blast furnace slag, 10 M sodium hydroxide, and 8% calcium hydroxide with 0.26 W/mK. In addition, it has been concluded that geopolymer brick is an effective way to dispose of industrial waste.

Keywords: Blast furnace slag, fly ash, geopolymer brick, brick

Hussein Jasım Mohammed AL-HASANI, Orcid: 0000-0003-3936-28453, hseenjasim71@gmail.com

Hakan ÇAĞLAR, Orcid: 0000-0002-1380-8637, c.hakan@ahievran.edu.tr

Arzu ÇAĞLAR, Orcid: 0000-0003-3928-8059, arzu.caglar@ahievran.edu.tr

1. INTRODUCTION

Due to the high energy requirement and consumption of natural resources, clay and shale are mainly used as raw materials in brick production, which are environmentally friendly and uneconomical. For this reason, the research of alternative construction materials has received growing attention in recent years. In addition to insufficient landfills, industries are known to dump large amounts of waste materials, which are economical and environmental problems (Zeyad et al., 2021; Faried et al., 2021; Tayeh et al., 2021; Amin et al., 2021; Calis et al., 2021; Hamada et al., 2020).

Using waste materials in brick production can reduce storage problems and the consumption of resources (Zhang, 2013). Besides, this approach helps reduce energy consumption by avoiding incineration or high effort to dispose of waste and make better use of it.

Researchers used a wide variety of waste materials (for example, fly ash, blast furnace slag, mine, rice husk ash, cotton waste, oyster shell, and wood shavings) as substitutes or additives in brick production (Ahmari et al., 2012; Kumar et al., 2013; Wang et al., 2016; Sukmak et al., 2013; Abdullah et al., 2015; Zawrah et al., 2016; Venugopal et al., 2021; Apithanyasai et al., 2018; Ahmari et al., 2013; Ahmari et al., 2013; Madani et al., 2020; Tayeh et al., 2021).

The name "geopolymer" was first used by Davidovits (Davidovits, 2008) to describe inorganic aluminosilicate polymers produced by synthesizing natural materials such as metakaolin or industrial by-products such as fly ash (Wongpa et al., 2010; O'Connor et al., 2010; Kani et al., 2009; Hardjito et al., 2010) and blast furnace slag with highly alkaline activators (Bakharev et al., 1999).

Geopolimerizasyon technology, environmental and economic benefits of recycling waste materials because of aluminosilicate-rich industrial by-products as an alternative way for the production of bricks by using various wastes have been introduced (Kuranchie et al., 2016; Apithanyasai et al., 2020). This process involves a chemical reaction between aluminosilicate materials obtained from industrial by-products and a highly concentrated aqueous alkaline hydroxide or silicate solution that produces a durable material with an amorphous polymeric structure (Tayeh et al., 2019; Al Saffar et al., 2018). Geopolymers exhibit a wide range of properties, including high compressive strength, low shrinkage, high-temperature resistance (Barbosa et al., 2003), and acid and fire resistance (Wu H-C et al., 2007; Duxson et al., 2007).

All over the world, a lot of research is being done on the use of waste materials (Barbosa et al., 2000)]to prevent an increasing threat to the environment or to modernize existing waste disposal techniques by making them more affordable and environmentally friendly (Swanepoel et al., 2002).

Surul et al. (2021) reported a decrease in porosity and an increase in bulk density and compressive strength with increasing firing temperature of ground granulated blast furnace slag and fly ash added bricks; porosity and water absorption increased, ash density and compressive strength and thermal conductivity decreased with

the increase of fly ash amount. They stated that there is an increase in compressive strength with an increase in the granulated blast furnace slag content and that the binary brick containing 30% GGBS +10% FA exhibits almost the same properties as the control brick. Apithanyasai et al. (2020) produced geopolymer bricks by using waste foundry sand (WFS), fly ash (FA), electric arc furnace slag (EAF slag), 8M sodium hydroxide (NaOH), and sodium silicate (Na_2SiO_3) with a ratio of $\text{Na}_2\text{SiO}_3/8\text{M NaOH} = 2.5$ with 98% purity. They stated that the environmental impact of geopolymer brick production is lower than concrete production in every respect. In their study, Ganesh et al., (2020) produced geopolymer bricks using Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS), M-Sand and Alkali solution. They reported that geopolymer bricks based on GGBS could be designed with better engineering properties. Youssef et al. (2019) investigated the reuse potential of waste brick (WB) by alkaline activation in a new geopolymer brick. They have established that there is effective feasibility for the recovery of industrial waste and its transformation into a valuable product for the construction industry. Jindal et al. (2020) produced geopolymer using blast furnace slag as the binder material and NaOH and Na_2SiO_3 as alkali activators; they determined that rice husk ash improved the mechanical properties of the geopolymer; in addition, they found that blast furnace slag had a positive effect on permeability by preventing micro-pores that may occur in concrete thanks to its grain size.

In this study, it was aimed to investigate the effect of the substitution of blast furnace slag on fly ash-based geopolymer brick on the heat transmission coefficient.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

2.1.1. Clayey soil

The clay soil, the raw material of the geopolymer brick produced in the study, was taken from within the borders of Kırşehir province. The elements contained in the soil are given in Table 1. When the table was examined, it was seen that the highest element value was Silicon (Si), with 38.35%.

Table 1. The weights of the elements contained in the soil used in the production of geopolymer bricks

Element	Weight (%)
Si	38.35
Al	9.22
Fe	7,45
O	21,78
Nb	5.62
K	2.70
Ca	15.92

2.1.2. Blast furnace slag

In the study's scope, blast furnace slag, the waste of Kardemir Iron and Steel Factory, was used. The chemical components of blast furnace slag are given in Table 2. In the table, the highest value belongs to SiO_2 , with 41.97%, and a high percentage of CaO , Al_2O_3 , and MgO compounds were found.

Table 2. Chemical compositions of blast furnace slag used in the study

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	I.L.
%	41,97	10,51	35,66	6,78	1,47	0,35	0,79	0,53	2,20	0,58

IL: Ignition Loss

2.1.3. Fly ash

The fly ash used in the experimental study was supplied from Seyitömer Thermal Power Plant, and the chemical composition of the fly ash used is given in Table 3. In the table, SiO₂ has the highest value, with 51.74%. In addition, CaO, MgO, Fe₂O₃, and Al₂O₃ compounds are also found in fly ash. Class F fly ash was used in the study.

Table 3. Chemical compositions of fly ash used in the study

Composition	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O (equivalent)	Free CaO
(%)	51,74	7,29	5,90	9,08	18,87	0,75	2,35	2,74	1,85	0,25

2.1.4. Sodium hydroxide

Sodium hydroxide (NaOH) is also frequently used in many industrial fields, especially in the chemical industry. One of these areas is the construction area. Sodium hydroxide is slippery, odourless, and white. In addition, it has a good degree of moisture retention. The chemical values of sodium hydroxide used in the experimental study are given in Table 4.

Table 4. Chemical values of Sodium Hydroxide [Web iletı. Date of Access: 20.12.2022]

Chemical's Name	Sodium hydroxide
Chemical Formula	NaOH
Molecular Weight	39,997 g/mol
Intensity	2.13 g/cm ³
Melting point	318 °C

2.1.5. Calcium hydroxide

Calcium hydroxide, obtained by adding water to quicklime, also has a wide range of uses in the construction field. Its colour is white, and it is powdery. When it reacts with water, it forms a pasty consistency. The chemical values of calcium hydroxide are given in Table 5.

Table 5. Chemical values of Calcium Hydroxide [Web iletı. Date of Access: 20.12.2022]

Chemical's Name	Calcium hydroxide
Chemical Formula	Ca(OH) ₂
Molecular Weight	74,093 g/mol
Intensity	2,21 g/cm ³
Melting point	580 °C

2.1.6. Mixture water

The city mains water of Kırşehir province was used in the geopolymer brick samples produced within the scope of the study.

2.2. Method

2.2.1. Production of geopolymer brick samples

In our experimental study, firstly, sodium hydroxide with a concentration of 8 and 10 M and calcium hydroxide, which will be used in a ratio of 4% and 8%, were used to create a solution to participate in the production. 8 moles of sodium hydroxide 320 g and 10 moles of sodium hydroxide 400 g were used. To create a solution, 1 liter of water was separately dissolved in a glass beaker. The same process was applied to calcium hydroxide, which was used in a 4% and 8% ratio.

In the second phase, clay soil, the raw material of geopolymer brick, was taken from the January by quartering method and ground in a roller crusher grinding machine to obtain 1 mm undersize material. Then, the same process was applied to blast furnace slag taken from Kardemir Iron and Steel Plant and fly ash taken from Seyitömer thermal power plant.

After the solid materials were prepared, production was started using the recipe quantities given in Table 5. In the table, REF means reference sample; YFC10 means 10% blast furnace slag added geopolymer brick; YFC30 means 30% blast furnace slag added geopolymer brick; YFC50 means 50% blast furnace slag added geopolymer brick; YFC70 means geopolymer brick with 70% blast furnace slag added. In the study, the rate of fly ash was fixed at 20%. Therefore, clay/Blast furnace slag ratios were determined as 70:10, 50:30, 30:50, and 10:70, and mixture water was determined as 20% of the mixture.

Table 6. Mixture recipe

	Clay (%)	Blast Furnace Slag (%)	Fly Ash (%)	Sodium Hydroxide (M)	Calcium Hydroxide (%)
REF	100	--	--	--	--
YFC10-8-4	70	10	20	8	4
YFC30-8-4	50	30	20	8	4
YFC50-8-4	30	50	20	8	4
YFC70-8-4	10	70	20	8	4
YFC10-8-8	70	10	20	8	4
YFC30-8-8	50	30	20	8	4
YFC50-8-8	30	50	20	8	4
YFC70-8-8	10	70	20	8	4
YFC10-10-4	70	10	20	10	8
YFC30-10-4	50	30	20	10	8
YFC50-10-4	30	50	20	10	8
YFC70-10-4	10	70	20	10	8
YFC10-10-8	70	10	20	10	8
YFC30-10-8	50	30	20	10	8
YFC50-10-8	30	50	20	10	8
YFC70-10-8	10	70	20	10	8

At the production stage of the study, clay, fly ash, and blast furnace slag, which are dry materials, were first subjected to a medium-setting mixing process for 60 seconds in the mixer to form a dry homogeneous mixture.

After the mixing process in an aqueous solution with NaOH and CaOH piset a heavy clay, fly ash and blast furnace slag mixture on low speed for 90 seconds and poured into a dry mixing process are reviewed. It was then mixed at a high setting of 90 sec. The produced brick dough was poured into moulds measuring 4x4x16 cm after the mould was lubricated. 60 Strokes were made for the compression process.

Geopolymer brick samples were kept in the mould for one day. Then the semi-finished brick samples were left to dry in a semi-open area to dispose of the water in their bodies. After the drying process was completed, it was baked in high-temperature electric ovens by gradually increasing the temperature.

After the cooking process, the samples were allowed to cool slowly in the oven. It is not removed from the oven immediately after cooking because there are no problems on the samples, such as calama or breakage caused by sudden temperature changes.

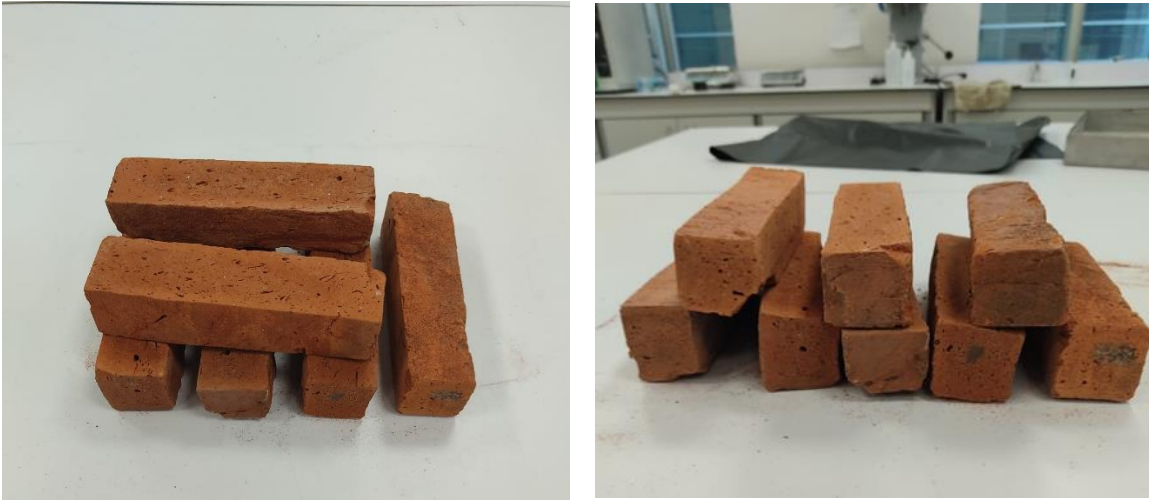


Figure 1. Produced geopolymer brick samples

3.2.2. The experiment of Heat, and conduction coefficient determination, applied to geopolymer brick samples

There are two parts with a brass cylinder and a brass disc inside and insulated to prevent heat transfer with the outside. Parts made of different materials can be placed between the cylinder parts, and temperature changes can be measured. The desired thermal values can be calculated with the help of various values and formulas. Whichever part's temperatures are to be measured, the cables are placed in the sections on that part. For this event, first of all, power is provided at a fixed value. This should become the regime when measuring temperatures. After that, the temperature values are read over. Finally, the necessary procedures are carried out with cooling water. The experimental setup is given in Figure 2.

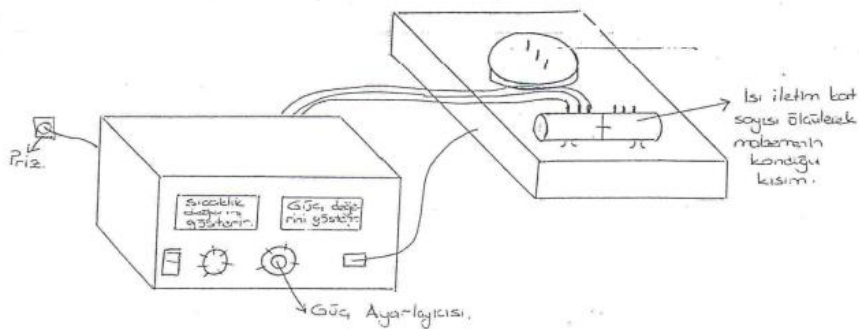


Figure 2. Experiment setup for determination of heat conduction coefficient

3. FINDINGS

Determination of the heat conduction coefficient of geopolymer bricks experimental results are given in Figure 3. When sodium hydroxide is taken as a basis in the figure, it was seen that there is a decrease in the heat conduction coefficient with an increase in the amount of sodium hydroxide. When calcium hydroxide is taken as a basis, it has been seen that there is an improvement in the heat conduction coefficient by increasing the amount of calcium hydroxide again. It was observed that there was a decrease in the heat conduction coefficient with an increase in the amount of blast furnace slag in all categories. It is believed that the reason for this is that the internal structure of blast furnace slag is hollow and lightweight. It is observed that the lowest heat conduction coefficient is obtained from YFC70-10-8 brick samples with 0.26 W/mK. When this value is compared with other studies, it has better thermal insulation properties than boron waste added (Al Amara et al., 2020), ferrosilicon slag and alumina waste added (Ahmed et al., 2021), traditional perforated brick (TS EN 772,1, 2012), fly ash based (Feng et al., 2015) geopolymer brick.

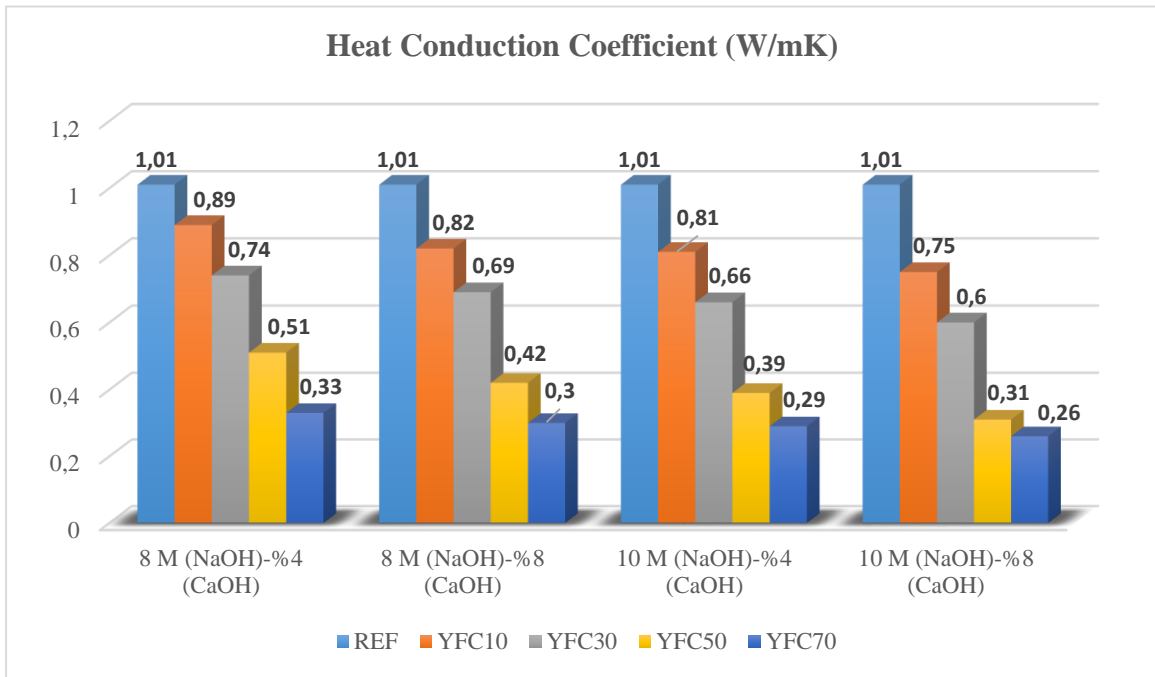


Figure 3. Graph of heat conduction coefficient values

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The reuse of industrial wastes is one of the most appropriate methods to minimize the destruction they have made in nature. Therefore, waste is used in many sectors, especially in construction. In this study, the effect of blast furnace slag, which is one of the industrial wastes, on the heat conduction coefficient of fly ash-based geopolymer brick was investigated and the results obtained are listed below.

- The heat conduction coefficient of geopolymer brick samples prepared at a sodium hydroxide concentration of 8 M is higher than that of samples prepared at a sodium hydroxide concentration of 10 M.
- The heat conduction coefficient of geopolymer brick samples prepared at 8% calcium hydroxide concentration is lower than those prepared at 10 M sodium hydroxide concentration.

- Among all blast furnace slag-added samples, the best thermal conductivity coefficient of 0.26 W/mK was obtained from 10 M (NaOH)-8% CaOH samples.
- It has been determined that there is a decrease in the heat conduction coefficient with the increase of blast furnace slag.
- Porous and lightweight materials should be selected in order to reduce the heat conduction coefficient, in other words, to increase the thermal insulation property.
- There will be no need for additional insulation costs in buildings constructed with bricks with improved thermal insulation properties.
- Environmental and human health will be protected from an eventful point of view by evaluating the wastes.

In conclusion, it was found that there is no disadvantage when blast furnace slag can be used in brick production. Although, in addition, it is thought that it will be a very important step in terms of reducing environmental pollution and its effects on human health, it is thought that industrial waste can be used not only for brick but also for the improvement of different materials.

REFERENCES

- Tayeh, B.A., Al Saffar, D.M., Askar, L.K., Jubeh, A.I. (2019). "Effect of incorporating pottery and bottom ash as partial replacement of cement", *Karbala International Journal of Modern Science*, 5 (4), 9. DOI: 10.33640/2405-609X.1220
- Al Saffar, D.M., Tayeh, B.A. (2018). "Influence of pottery clay in cement mortar and concrete mixture: a review", *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 67–71.
- Zeyad, A.M., Johari, M.A.M., Abutaleb, A., Tayeh, B.A. (2021). "The effect of steam curing regimes on the chloride resistance and pore size of high-strength green concrete", *Construction and Building Materials*, 280, 122409. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122409>
- Faried, A.S., Mostafa, S.A., Tayeh, B.A., Tawfik, T.A. (2021). "The effect of using nano rice husk ash of different burning degrees on ultra-high-performance concrete properties", *Construction and Building Materials*, 290 (2021), 123279. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123279>.
- Tayeh, B.A., Hadzima-Nyarko, M., Zeyad, A.M, Al-Harazin, S.Z. (2021). "Properties and durability of concrete with olive waste ash as a partial cement replacement", *Advanced Concrete Construction*, 11 (1), 59–71. DOI: <https://doi.org/10.12989/acc.2021.11.1.059>
- Amin, M., Zeyad, A.M., Tayeh, B.A., Agwa, I.S. (2021). "Engineering properties of self-cured normal and high strength concrete produced using polyethylene glycol and porous ceramic waste as coarse aggregate", *Construction and Building Materials*, 299 (2021), 124243. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124243>.
- Calis, G., Yildizel, S.A., Erzin, S., Tayeh, B.A. (2021). "Evaluation and optimisation of foam concrete containing ground calcium carbonate and glass fibre (experimental and modelling study)", *Case Studies in Construction Materials*, 15 (2021), e00625.
- Hamada, H., Tayeh, B., Yahaya, F., Muthusamy, K., Al-Attar, A. (2020). "Effects of nano-palm oil fuel ash and nano-eggshell powder on concrete", *Construction and Building Materials*, 261 (2020), 119790. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119790>.
- Zhang, L. (2013). "Production of bricks from waste materials – a review", *Construction and Building Materials*, 47 (2013) 643–655. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043>
- Ahmari, S., Zhang, L.J.C. (2012). "Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through

- geopolymerization”, *Construction and Building Materials*, 29 (2012), 323–331.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.048>
- Kumar, A., Kumar, S.J.C. (2013). “Development of paving blocks from synergistic use of red mud and fly ash using geopolymerization”, *Construction and Building Materials*, 38 (2013) 865–871.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.013>
- Wang, L., Sun, H., Sun, Z., Ma, E. (2016). “New technology and application of brick making with coal fly ash”, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18 (4) (2016) 763–770. DOI 10.1007/s10163-015-0368-9.
- Sukmak, P., Horpibulsuk, S., Shen, S.L.C.J. (2013). “Strength development in clay–fly ash geopolymer”, *Construction and Building Materials*, 40 (2013) 566–574.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.015>
- Abdullah, M., Ibrahim, V., Tahir, M. (2015). “The properties and durability of fly ash-based geopolymeric masonry bricks. *Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks*, Elsevier, 2015, 273–287.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00012-7>
- Zawrah, M., Gado, R., Feltin, N., Ducourtieux, S., Devoille, L.J.P.S. (2016). Recycling and utilization assessment of waste fired clay bricks (Grog) with granulated blastfurnace slag for geopolymer production, *Process Safety and Environmental Protection*, 103 (2016), 237–251.
- Venugopal, K., Sasalatti, V. (2021). Development of alkali activated geopolymer masonry blocks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2016. M.M. Ahmed et al. *Case Studies in Construction Materials* 15 (2021) e00737 13
- Apithanyasai, S., Nooaek, P., Supakata, N.J.E.J. (2018). The utilization of concrete residue with electric arc furnace slag in the production of geopolymer bricks, *Engineering Journal*, 22 (1) (2018) 1–14. DOI:10.4186/ej.2018.22.1.1
- Ahmari, S., Zhang, L.J.C., (2013). “Durability and leaching behavior of mine tailings-based geopolymer bricks”, *Construction and Building Materials*, 44 (2013) 743–750.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.075>
- Ahmari, S., Zhang, L.J.C., (2013). “Utilization of cement kiln dust (CKD) to enhance mine tailings-based geopolymer bricks”, *Construction and Building Materials*, 40 (2013) 1002–1011.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.069>
- Madani, H., Ramezaniapour, A., Shahbazinia, M., Ahmadi, E.J.C. (2020). “Geopolymer bricks made from less active waste materials”, *Construction and Building Materials*, 247 (2020) 118441.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118441>
- Tayeh, B.A., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Alaskar, A. (2021). “ Recycling of rice husk waste for a sustainable concrete: a critical review”, *Journal of Cleaner Production*, 312 (2021), 127734.
- Kuranchie, F.A., Shukla, S.K., Habibi, D.J. (2016). “Utilisation of iron ore mine tailings for the production of geopolymer bricks”, *International Journal of Mining*, 30 (2) (2016) 92–114.
<https://doi.org/10.1080/17480930.2014.993834>
- Apithanyasai, S., Supakata, N., Papong, S.J.H. (2020). “The potential of industrial waste: using foundry sand with fly ash and electric arc furnace slag for geopolymer brick production”, *Heliyon*, 6 (3) (2020) e03697.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03697>
- Davidovits J. (2008). “Geopolymers_inorganic polymeric new materials”. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 37(8), 1633–56.
- Davidovits J. *High-Alkali Cements for 21st Century Concretes*. ACI Special Publication; 1994. 144.
- Wongpa J, Kiattikomol K, Jaturapitakkul C, Chindapasirt P. (2010). “Compressive strength, modulus of

- elasticity, and water permeability of inorganic polymer concrete". *Materials & Design*, 31(10), 4748–54. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.05.012>
- O'Connor SJ, Mac Kenzie KJD. (2010). "A new hydroxide-based synthesis method for inorganic polymers". *Journal of Materials Science*, 45(12), 3284–8. DOI 10.1007/s10853-010-4340-8
- Kani EN, Allahverdi A. (2009). "Effects of curing time and temperature on strength development of inorganic polymeric binder based on natural pozzolan". *Journal of Materials Science*, 44(12), 3088–97.
- Hardjito D, Wallah SE, Sumajouw DMJ, Rangan BV. (2010). "On the development of fly ash-based geopolymer concrete". *ACI Materials Journal*, 10(6), 467–72.
- Bakharev T, Sanjayan JG, Cheng Yi-Bing. (1999). "Alkali activation of Australian slag cements". *Cement and Concrete Research*, 29(1), 113–20. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00170-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00170-7)
- Barbosa VFF, Mackenzie KJD. (2003). "Thermal behaviour of inorganic geopolymers and composites derived from sodium polysialate". *Materials Research Bulletin*, 38(2), 319–31.
- Wu H-C, Sun P. (2007). "New building materials from fly ash-based lightweight inorganic polymer". *Construction and Building Materials*, 21(1), 211–7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.06.052>
- Duxson PF-JA, Provis J, Lukey G, Palomo A, Van Deventer J. (2007). "Geopolymer technology: the current state of the art". *Journal of Material Science*, 42(9), 2917–33.
- Barbosa VFF, Mackenzie KJD, Thaumaturgo C. (2000). "Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers". *International Journal of Inorganic Materials*, 2(4), 309–17. [https://doi.org/10.1016/S1466-6049\(00\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S1466-6049(00)00041-6)
- Swanepoel JC, Strydom CA. (2002). "Utilisation of fly ash in a geopolymeric material". *Applied Geochemistry*, 17(8), 1143–8. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00005-7)
- Surul, O., Bilir, T., Gholampour, A., Sutcu, M., Ozbakkaloglu, T., Gencil, O. (2020), "Recycle of ground granulated blast furnace slag and fly ash on eco-friendly brick production", *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(5), 1738-1756. <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1731714>
- Apithanyasai, S., Supakata, N., Papong, S. (2020), "The potential of industrial waste: using foundry sand with fly ash and electric arc furnace slag for geopolymer brick production", *Heliyon* 6, (2020), e03697. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03697Get>
- Ganesh, A.C., Muthukannan, M., Aakash, S., Subramanian, B.P. (2020), "Optimisation of bio medical waste ash in GGBS based of geopolymer concrete" *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 872 (2020) 012154. DOI 10.1088/1757-899X/872/1/012163
- Youssef, N., Rabenantoandro, A.Z., Dakhli, Z., Chapiseau, C., Waendendries, F., Chehade, F.H., Lafhaj, Z. (2019). "Reuse of waste bricks: a new generation of geopolymer bricks", *SN Applied Sciences*, 1252 (2019), | <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1209-6>.
- Jindal, B.B., Sharma, R. (2020). "The effect of nanomaterials on properties of geopolymers derived from industrial by-products: A state-of-the-art review", *Construction and Building Materials*, 252 (2020), 119028. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119028Get>
- Web iletı. <https://emboykimya.com.tr/urunler/sodyum-hidroksit/>. Date of Access: 20.12.2022
- Web iletı. <https://emboykimya.com.tr/urunler/kalsiyum-hidroksit/>. Date of Access: 20.12.2022
- Al Amara, S.N., Çağlar, A. (2022). "Determination Of The Heat Conduction Coefficient Of Boron Waste, Fly Ash Based Geopolymer Bricks", *Current View Of Building Material*, Lambert akademik publishing.
- Ahmed, M.M., El-Naggar, K.A.M., Tarek, D., Ragab, A., Sameh, H., Zeyad, A.M., Tayeh, B.A., Maafa, İ.M., Yousef, A. (2021), "Fabrication of thermal insulation geopolymer bricks using ferrosilicon slag and alumina waste", *Case Studies in Construction Materials*, 15(2021)e00737.

TS EN 772,1, (2012), "Methods of test for masonry units- Part 1: Determination of compressive strength", Turkish Standardization Institute, Ankara.

Feng, J., Zhang, R., Gong, L., Li, Y., Cao, W., Cheng, X. (2015). "Development of porous fly ash-based geopolymer with low thermal conductivity", *Materials and Design*, 65 (2015), 529-533. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.024>

Kırıkkale’de Bulunan Hasan Ali Yücel İlkokulu’na Uygulanan Güçlendirme Yönteminin Analizi

Analysis Of Building Reinforcement Method For Hasan Ali Yücel Elementary School In Kırıkkale

Mays Raheem Hendı SHUJAİRİ¹, Hakan ÇAĞLAR^{2*}

¹Kırşehir Ahi Evran University, Institute of Science and Technology, Department of Advanced Technologies, Kırşehir

²Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kırşehir

Doi: 10.51764/smutgd.1248530

Geliş Tarihi : 06.02.2023

ÖZET

Kabul Tarihi : 19.02.2023

Bu çalışmada, Kırıkkale ilinde bulunan Hasan Ali Yücel İlkokulu’na yapılan güçlendirme çalışması analiz edilmiştir. Okulun mevcut durumu ve yapılan çalışmaların irdelenmesi, yapının mimarisi ve kullanıcıların minimum düzeyde etkilenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada sonuç olarak; okulun güçlendirmesinde yerinde dökme perde duvar uygulamasının seçildiği görülmüştür. Yapıda iki adet 30x200 ve 2 adet 30x400 cm’lik 4 adet yerinde dökme perde duvar uygulaması yapılmıştır. Uygulama aynı sayıda ve aynı yerde birbirinin devamı şeklinde tüm katlarda devam etmiştir. Ayrıca yapının ıslak zemin ve koridorları, yer kaplamaları ve tavan ve duvar boya ları yenilenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme, betonarme yapılar, eğitim yapıları, hasar ve onarım, Kırıkkale

ABSTRACT

In this study, the building reinforcement provided for Hasan Ali Yücel Elementary School located at Kırıkkale province has been analyzed. The aim is to examine the current status of the school and the work carried out, and to minimize the impact on the architecture of the building and the users. As a result of the study, it has been seen that cast-in-place curtain wall application has been selected for the reinforcement of the school. The building has 4 cast-in-place curtain wall applications, 2 30x200 and 2 30x400 cm. The application has been repeated on all floors in the same number and in the same place. Furthermore, wet floors and corridors, floor coverings, ceiling and wall paints have been renewed.

Keywords: Reinforcement, reinforced concrete structures, education buildings, damage and repair, Kırıkkale

Mays Raheem Hendı SHUJAİRİ, Orcid: 0000-0003-0507-8598, Mays_raheem@yahoo.com

Hakan ÇAĞLAR, Orcid: 0000-0002-1380-8637, c.hakan@ahievran.edu.tr

1. INTRODUCTION

Humans have needed shelter to protect themselves from environmental conditions and to feel safe since the day they existed. The needs other than shelter have started to arise with the change in conditions and the differentiation of needs. Therefore, they build structures with different features and for different purposes (Tezel et al., 2020). One of these structures is education buildings. Reinforced concrete construction is preferred in education buildings due to its long useful life and high strength.

Reinforced concrete structures can be deteriorated or excessively damaged due to aging, overloading, bad design, change of use of the structure and earthquake. This adversely affects the durability and usability of reinforced concrete structures. These effects lead to short- and long-term performance and safety concerns (Raza et al., 2019; Engindeniz et al., 2005; Koutas et al., 2019; Siddika et al., 2019; Raza et al., 2022; Khan et al., 2022).

These structures may be subjected to renovation, restoration, remodeling or reinforcement to meet the modern demand for buildings that have been damaged in their working life (except for monumental buildings). These may include the installation of new columns, walls, beams or trusses (Foraboschi, 2022).

Structural elements are usually reinforced to resist the applied load over their operational lifetime to prevent economic loss (Khan et al., 2022).

In this study, the aim is to examine the current status of the school and the work carried out, and to minimize the impact on the architecture of the building and the users.

2. STUDY AREA: KIRIKKALE

Kırıkkale, located at the intersection of roads that provide transportation from west to east, is a city that has hosted different civilizations thanks to its location. The historical background of the province is similar to that of Ankara, to which it was previously affiliated (Kırıkkale Municipality Culture and History Journals, 2008). No archaeological research has been carried out to document the ancient history of the province from the past to the present, but a few scientific researches have been carried out. According to these researches;

- The history of the province is similar to that of Anatolia (Ay, 1995).
- The mounds, ruins and historical ruins within the borders of Kırıkkale province show that the province dates back to BC (Kırıkkale Municipality Culture and History Journals, 2009; Ulukavak, 2011).
- Since the ancient ruins in the city center belong to the Chalcolithic period, it is seen that the province and its surroundings are dated back 7000 years (Karadeniz, 2006; Metin, 1997).
- Ceramic remains from Çatal Söğüt Mound have been documented to belong to the Bronze Age (Gülyazı, 2004).
- In 1073, Ankara was under the protection of the Turks. In Kırıkkale, turkification started to be seen on the same date (Kırıkkale Municipality Culture and History Journals, 2008).

- Although Kırıkkale was under Byzantine's protection for some periods, it came under Seljuk's protection between 1100-1200 (Kırıkkale Municipality Culture and History Journals, 2009).
- After the 14th century, Kırıkkale came under Ottoman's protection as far as Malatya province (Vural, 2018; Tekel, 2021).

Kırıkkale is a province in the Central Anatolia region, neighboring Çorum and Yozgat in the east, Ankara in the west, Çankırı in the north, and Kırşehir in the south (Figure 1). The province has a population of approximately 276000 and its surface area is 4630 km².

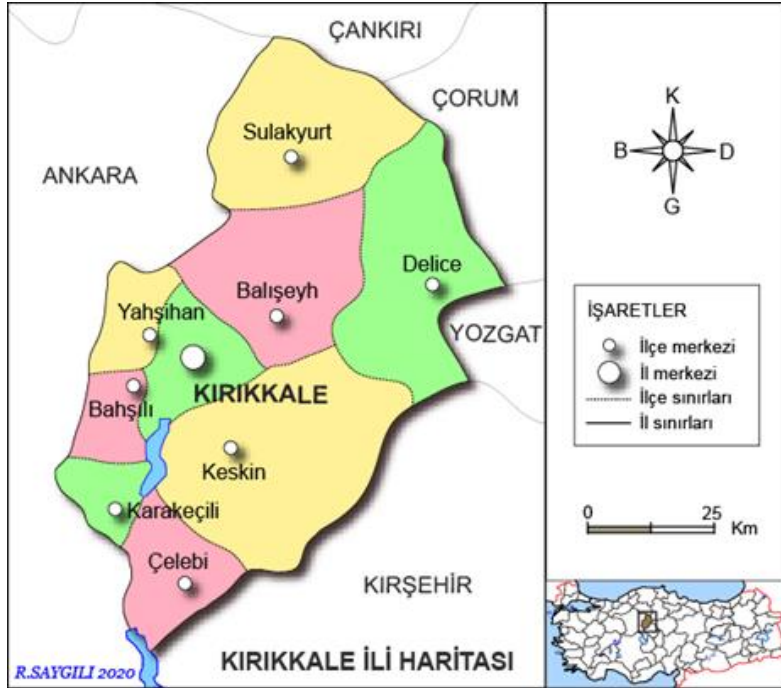


Figure 1. Political map of Kırıkkale (Web message 1)

Kırıkkale, which is the intersection point of the eastern, southern and Black Sea roads, serves as the gateway of 43 provinces to the west. A large part of Kırıkkale is surrounded by small or large rivers. A 92 km of the Kızılırmak River is located within the provincial borders and forms the border with Ankara. Kırıkkale consists of 9 districts, 185 villages and 11 municipalities together with the central district (Tekel, 2021).

3. DAMAGES TO REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

Project errors, overloading of the structure and foundation settlements cause cracks to occur in reinforced concrete carrier systems. When these cracks reach a certain depth, the structure is at risk (Sargın, 2020). Therefore, damaged structures should be identified immediately after taking safety precautions. After the determination studies, the structure is repaired, reinforced or demolished depending on the damage (Raofe, 2019).

Types of damage in reinforced concrete structures are as follows;

- Damage to the flooring;
- Damage to the beams
- Damage to the columns
- Damage to the lapping zone of beams and columns
- Damage to the curtain
- Cutting cracks
- Bending cracks
- Sliding damages

4. TYPES OF REINFORCEMENT IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

4.1. Element Based Reinforcement Methods

4.1.1. Reinforcement of Columns

Most of the reinforced concrete buildings designed before DBYBHY (Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones) (2007) do not have curtain wall elements. That the buildings do not have curtain wall elements requires more detailed and careful design of the columns. Problems such as axial load capacity, low ductility, bending moment, etc. occur in the columns due to the loads affecting the structure (Şahin, 2019).

Columns need to be reinforced so that the damaged column can resist possible loads and increase its load carrying capacity (Ayaz, 2020). An example of column reinforcement is given in Figure 2.

Columns are reinforced as follows;

- With steel caging
- With sheathing
- By coating with fibrous polymer
- By adding wings.



Figure 2. Reinforcement of Columns

4.1.2. Reinforcement of Reinforced Concrete Beams

Another reinforced structural element is the beams. Reinforcement of reinforced concrete beams are conducted as follows (Figure 3);

- Reinforcement of beams by coating them with steel plates,
- Reinforcement of beams with sheathing,
- By coating with fibrous polymer.



Figure 3. Reinforcement of beams

4.1.3. Reinforcement of lapping zone of beams and columns

Column-beam joints are the nodal point where structural elements are found together and are under the impact of horizontal and vertical loads. Therefore, they are very delicate areas where workmanship is not easy (Karaca, 2022).

The following methods are used for reinforcement of column-beam joints (Figure 4);

- Reinforcement of joints with sheathing,
- Reinforcement of joints with steel plates,
- Reinforcement of joints with fibrous polymer.

Since reinforcement with sheathing method is a difficult method, reinforcement with steel plates or reinforcement by coating with fibrous polymer is generally applied (Sargin, 2020).

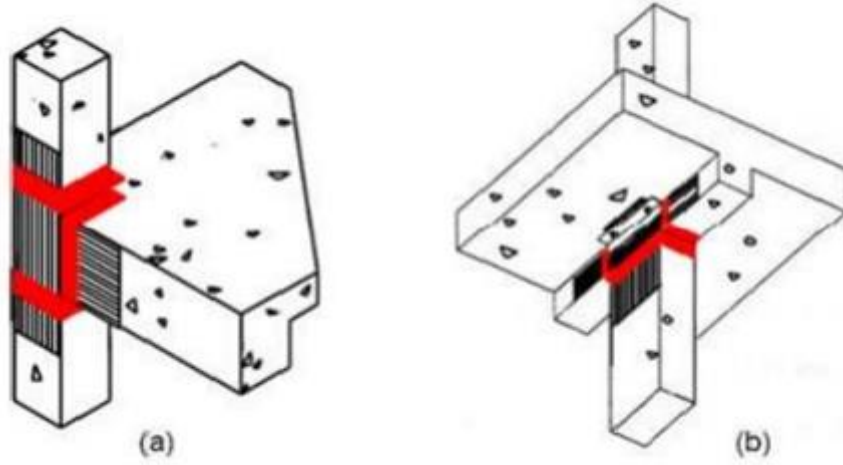


Figure 4. Detail of reinforcement of column-beam joints

4.2. System-based Reinforcement

4.2.1. Reinforcement of nonbearing walls

Nonbearing walls have a great impact on the center of rigidity in the building, the distribution of columns and beams, the production of short columns and earthquake load (Gündüz, 2019).

The method of reinforcement of nonbearing walls (Figure 5) is used in buildings with a maximum of 3 storeys. The system is constructed to improve the rigidity and shear strength of the nonbearing walls as a block from the foundation to the roof. In this system, which is completed in a short time, the residents of the building can stay in their homes during the application (Karaca, 2022).

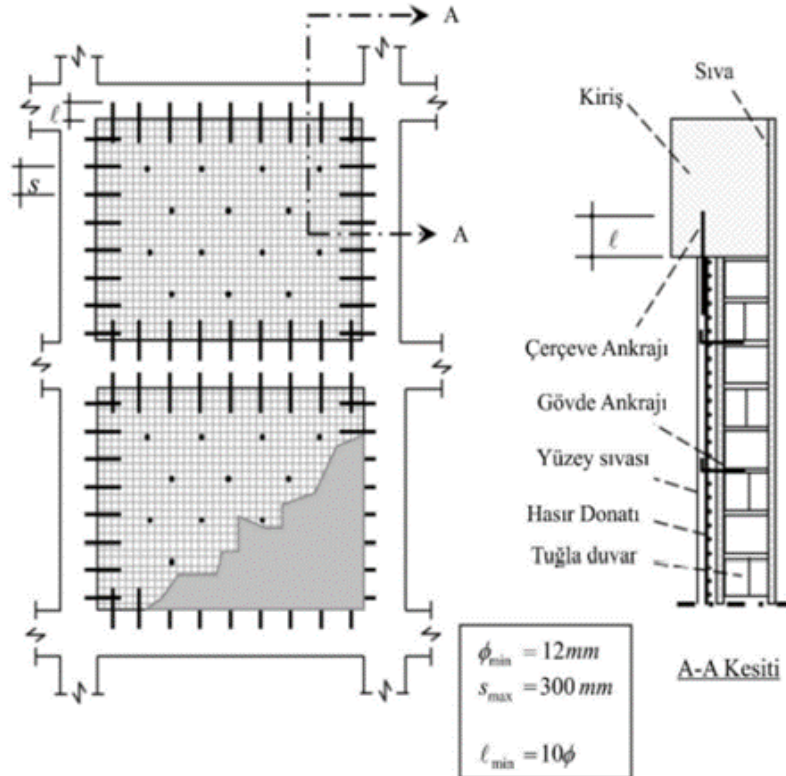


Figure 5. Reinforcement of nonbearing walls

4.2.2. Reinforcement of reinforced concrete frames with cast-in-place curtain walls

This method, which is used in cases where the rigidity and strength of the structural system is not sufficient, is the most widely used method due to its low cost and wide usage area. The biggest disadvantage of the method is that the curtain wall must be constructed along the entire wall (Figure 6) (Gündüz, 2019).

Reinforcement of reinforced concrete frames with cast-in-place curtain walls is applied as follows;

- By adding reinforced concrete curtain wall inside the frame plane
- By adding reinforced concrete wall adjacent to the frame plane.



Figure 6. Reinforcement of reinforced concrete frames with cast-in-place curtain walls

4.2.3. Reinforcement of reinforced concrete frames with steel diagonal members

When building reinforcement is done by adding curtain walls to the building, the weight of the building increases, which leads to an increase in the earthquake load. The most effective way to eliminate these problems is to add lightweight and high rigidity elements to the system. The most effective method for this is the reinforcement of reinforced concrete frames with steel diagonal members. This method is applied by adding steel diagonal members to the frame plane. The most important advantage of this method, which takes a very short time to apply, is that the diagonals can be added without closing the door and window openings (Karaca, 2022). Figure 7 shows the details of the method of reinforcement of the frame with steel diagonals.

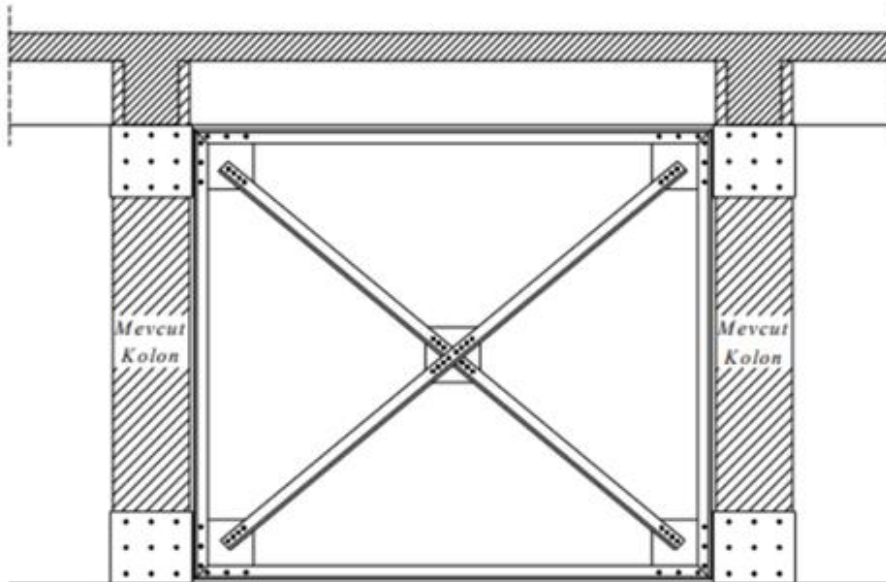


Figure 7. Reinforcement of frame with steel diagonal members (Karaca, 2022)

4.2.4. Reinforcement of the structure by adding exterior curtain walls

This method is preferred in cases where interior application is not possible due to the use of the building. It is applied in places with high earthquake risk in accordance with architectural conditions. It is applied on the outer frame of the building, adjacent to the frame and connected to the frame with anchor rods. Exterior curtain walls should be constructed from the foundation level to the top of the floor (Figure 8) (Karaca, 2022).

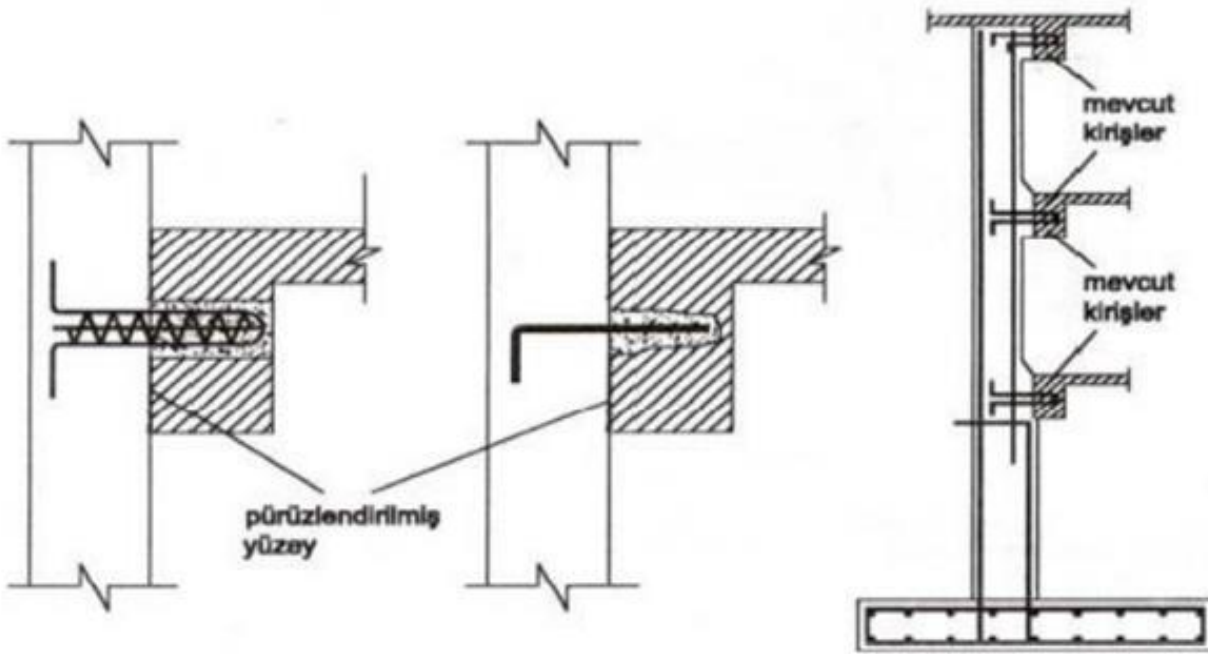


Figure 8. Connecting the exterior curtain walls to the adjacent frame with anchor rods (Öncü, 2011)

4.2.5. Reinforcement by adding new frames to the reinforced concrete system

This method can be applied from exterior without the need for users to evacuate the building. In this method, the aim is to transfer the horizontal loads on the structure to the ground by bearing them with rigid members (Karaca, 2022). In this method, also the frame to be added should start from the foundation level to the end. Furthermore, the foundation system and the foundation of the previous structure should be connected to each other to ensure healthy load sharing (Karapınar, 2020).

4.2.6. Reducing the weight of the reinforced concrete system

The loads on the building during an earthquake are directly proportional to the weight of the building. Therefore, by reducing the weight of the building, the earthquake load on the structure will also be reduced. In this method, the top floor or more than one floor of the building is demolished or the materials forming the interior walls of the building are selected from lightweight materials (Erdel, 2019). Furthermore, the construction of a new roof of lighter materials by removing the previous roof, reducing the extra loads on the roof to the ground, constructing balconies and concrete walls from lightweight materials are among the effective ways to reduce the weight of the system (Karapınar, 2020).

5. CURRENT STATUS OF HASAN ALİ YÜCEL ELEMENTARY SCHOOL AND REPAIRS CARRIED OUT

Hasan Ali Yücel Elementary School, which has been analyzed within the scope of the study, started education in The school consists of basement, ground + 2 floors. The reinforcement work to the educational institution started in and was completed in Figure 9 shows the basement floor, Figure 10 the ground floor, Figure 11 the first floor and Figure 12 the second floor plans of the school.

When the plans are analyzed, the length of the basement floor is 32.85 m and its width is 14.80 m. Floor space is 486.18 m². There is a multi-purpose hall, 4 warehouses, 2 wc, boiler room, workshop, canteen and conference hall on the floor. Reinforcement works were carried out in 4 places in the basement floor. Cast-in-place curtain walls application was selected as the reinforcement type. Two of the cast-in-place curtain walls are 30cm x 200 cm and two are 30cm x 400 cm. In addition, walls and ceilings were painted, tile mosaic was applied to some areas on the floor and laminated flooring was applied to some areas.

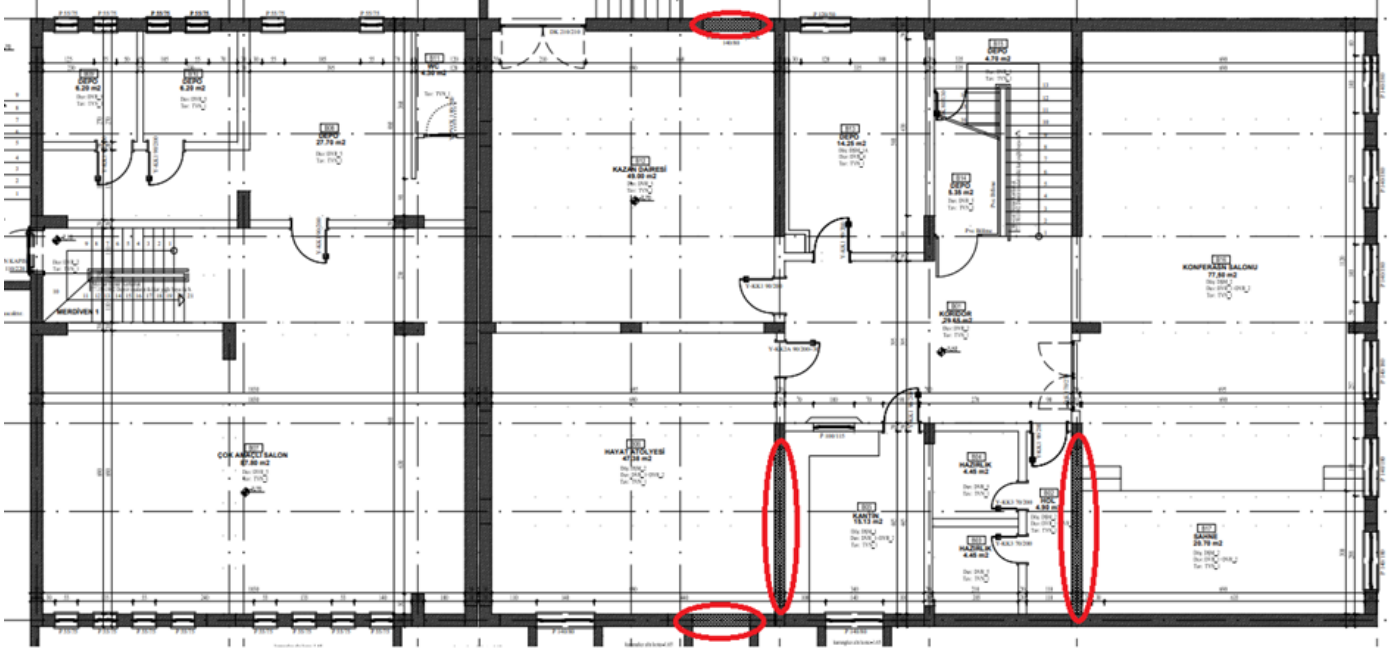


Figure 9. Basement floor reinforcement application plan

The ground floor space is 486.18 m². There are PTA, male/female teacher wc, janitor room, female student wc, teachers' room, kindergarten class, vice principal's room, clerk, library and 2 classrooms. Reinforcement works were carried out in 4 places on the ground floor. Cast-in-place curtain walls were applied as reinforcement type. The curtain wall application in the basement floor was repeated in the same place and in the same number on the ground floor. Two of the cast-in-place curtain walls are 30cm x 200 cm and two are 30cm x 400 cm. In addition, walls and ceilings were painted, tile mosaic was applied to some areas on the floor and laminated flooring was applied to some areas.

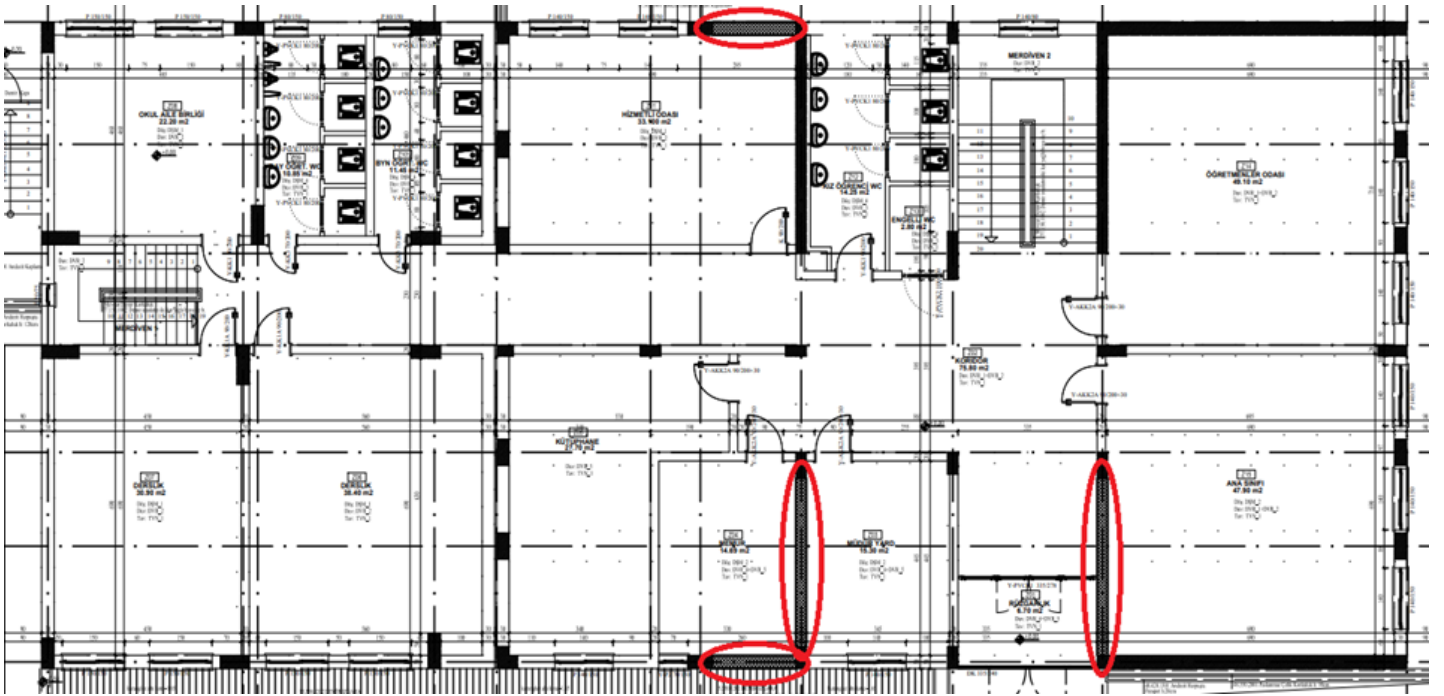


Figure 10. Ground floor reinforcement application plan

The first floor space is 486.18 m². When the plan is analyzed, there are male/female student wc, male/female teacher wc, 6 classrooms, support education room and principal's room. Reinforcement works were carried out in 4 places on the first floor. Cast-in-place curtain walls were applied as reinforcement type. The curtain wall application on the ground floor was repeated in the same place and in the same number on the first floor. Two of the cast-in-place curtain walls are 30cm x 200 cm and two are 30cm x 400 cm. In addition, walls and ceilings were painted, tile mosaic was applied to some areas on the floor and laminated flooring was applied to some areas.

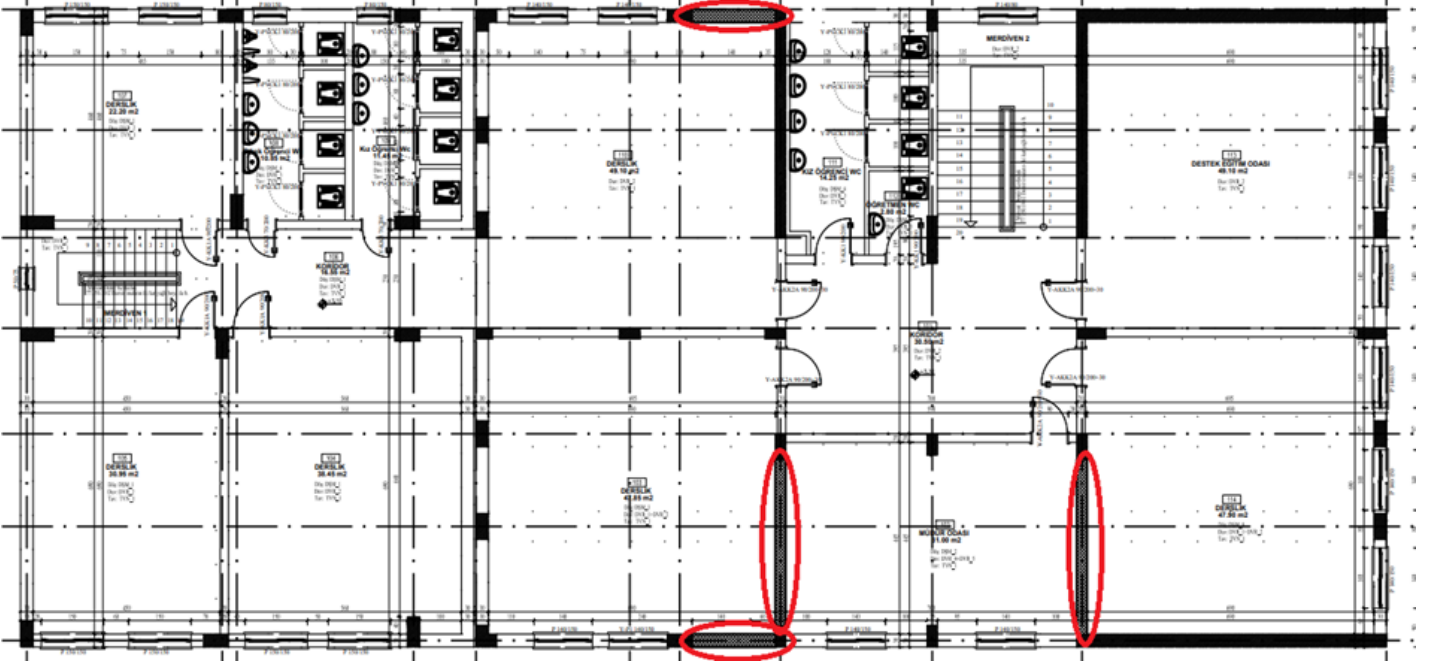


Figure 11. First floor reinforcement application plan

The second floor space is 486.18 m². When the plan is analyzed, there are male/female student wc, male/female teacher wc, 6 classrooms, 1 prayer room. Reinforcement works were carried out in 4 places on the first floor. Cast-in-place curtain walls were applied as reinforcement type. The curtain wall application on the first floor was repeated in the same place and in the same number on the second floor. Two of the cast-in-place curtain walls are 30cm x 200 cm and two are 30cm x 400 cm. In addition, walls and ceilings were painted, tile mosaic was applied to some areas on the floor and laminated flooring was applied to some areas.

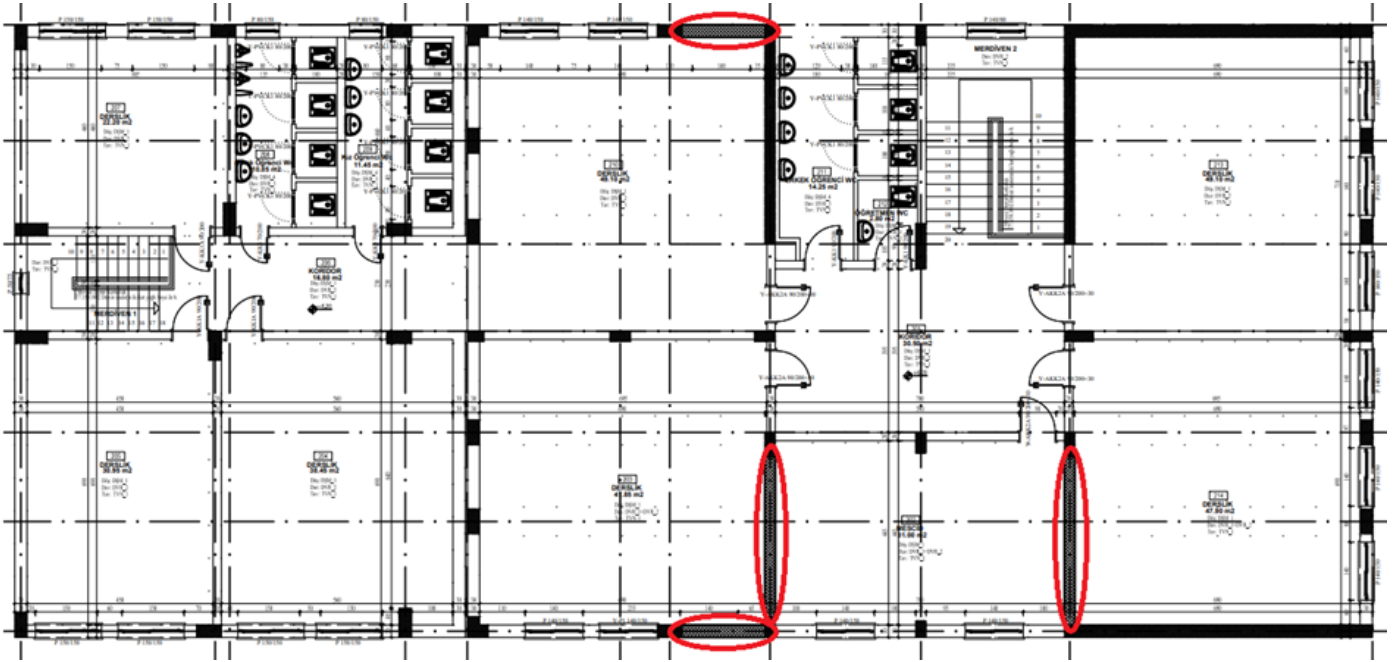


Figure 12. Second floor reinforcement application plan

6. RESULTS

In the study, the reinforcement of Hasan Ali Yücel Elementary School in Kırıkkale province was analyzed and the results obtained are listed below.

- In the frame system of the basement, ground + 2 floors, 4 cast-in-place curtain walls were applied.
- Two of the cast-in-place curtain wall applications were made on exterior walls and two on interior walls.
- The cast-in-place curtain wall is applied as interconnected on all floors.
- The wet floors and corridor floors of all floors were repaired using tile mosaic.
- While some walls were left in their current form (wall+plaster+paint), some walls were treated with

wall+perlite plaster+water-based paint.

- School doors and windows were replaced with PVC doors and windows joinery.
- Other educational institutions can also be examined and reinforcement works can be initiated by taking Hasan Ali Yücel Elementary School as a reference.
- When reinforcement is carried out, care should be taken to ensure that the reinforcement method to be chosen is easy to apply and that the school building is made useful.

REFERENCES

- Tezel, H., Çağlar, H., Çağlar, A., Can, Ö. and Çimen, S. (2020). Effects of Boric Acid Additive to Pumice Aggregate Lightweight Concrete Properties, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 6(9), 1–10.
- Raza, S., Khan, M.K.I, Menegon, S.J., Tsang, H.H., Wilson, J.L. (2019). Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: State-of-the-art review, *Sustainability* 11 (2019) 3208.
- Engindeniz, M., Kahn, L.F., Zureick, A.H. (2005). Repair and strengthening of reinforced concrete beam-column joints: state of the art, *ACI Structural Journal* 102 (2) (2005).
- Koutas, L.N., Tetta, Z., Bournas, D.A., Triantafillou, T.C. (2019). Strengthening of concrete structures with textile reinforced mortars: state-of-the-art review, *Journal of Composites for Construction* 23 (1) (2019) 03118001.
- Siddika, A., Mamun, M.A.A., Alyousef, R., Amran, Y.H.M. (2019). Strengthening of reinforced concrete beams by using fiber-reinforced polymer composites: A review, *Journal of Building Engineering* 25 (2019) 100798.
- Khan, A.R., Fareeda, S., Zahid, B. (2022). Use of high strength technical textiles in strengthening of reinforced concrete structural elements, *The Journal of The Textile Institute* 113(2), 2022.
- Foraboschi, P., (2022). Strengthening of Reinforced Concrete Beams Subjected to Concentrated Loads Using Externally Bonded Fiber Composite Materials, *Materials* 2022, 15(6), 2328.
- Kırıkkale Municipality, (2008). Kırıkkale. Kırıkkale: Kırıkkale Culture and History Publications.
- Ay, E. (1995). A Brief Overview of the Ancient History of Kırıkkale in the Light of Archaeological Research. *Kırıkkale Magazine*, 1 (2).
- Kırıkkale Municipality Directorate of Press and Public Relations. (2009) Kırıkkale in History. Kırıkkale Municipality Culture and History Publications. Kırıkkale
- Ulukavak, H. G. (2011). The Role of Traffic Clarification in Improving the Quality of Urban Life: The Case of Kırıkkale. Unpublished Master Thesis, Konya Selcuk University Institute of Science and Technology, Konya.
- Karadeniz, E. (2006). Urban Development in Kırıkkale. Unpublished Master Thesis, Ankara University Institute of Social Sciences, Ankara.
- Metin, R. (1997). According to Ottoman Archive Documents XVI. Kırıkkale Province Region (Keskin, Konur, Dinek Districts) in the 19th Century. Kırıkkale University Institute of Social Sciences Unpublished Master Thesis. Kırıkkale.
- Gülyazı, Y. (2004). Kırıkkale City Geography. Unpublished Master Thesis, Ondokuz Mayıs University Institute of Social Sciences, Samsun.
- Vural, E. (2018). Spatial Development Of Kırıkkale City From The Republic To The Present, Master's Thesis, Istanbul University Social Sciences Institute.
- Tekel, F. (2021). Quarry And Tombs in Kırıkkale Folk Medicine, Phd Thesis, Atatürk University Turkish Research Institute.

Web message 1. <http://www.neyimizmeshur.com/index.php/kirikkale/>

- Sargin, H., (2020). Comparison of an Existing Reinforced Concrete Building According to System Improvement and Supporting Element Reinforcement Methods, Master Thesis, Kütahya Dumlupınar University, Institute of Science and Technology.
- Raofe, A.A., (2019). Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings Under the Impact of Earthquake and Comparison of Cost Analysis of Reinforcement Techniques, Master Thesis, Konya Technical University Graduate Education Institute.
- Şahin, Y., (2019). Determining the Performance of an Existing Reinforced Concrete Building by Performing Analysis in the Time Domain According to the 2019 Turkish Building Earthquake Code and Steel Reinforcement Suggestions, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology.
- Ayaz, U. (2020). Evaluation and strengthening of the earthquake performance of an existing reinforced concrete building according to the 2007 and 2018 Turkish building earthquake codes, Master Thesis, Gebze Technical University, Institute of Science and Technology.
- Karaca, N., (2022). Investigation of Earthquake Safety of an Existing Reinforced Concrete School Building and Investigation of Alternative Reinforcement Methods According to TBDY-2018 and Solution Suggestions, Master Thesis, Konya Technical University Graduate Education Institute.
- Gündüz, Y., (2019). Calculation of Required Reinforcement Shear Wall Amount for Reinforced Concrete Buildings, M.Sc., Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Science and Technology.
- Öncü, G., (2011). Earthquake Repair and Reinforcement Methods of Existing Reinforced Concrete and Masonry Buildings and Examination of Some Application Examples in İzmir, Master Thesis, Dokuz Eylül University, Institute of Science and Technology.
- Karapınar, M.F., (2020). Determination of Earthquake Performance and Reinforcement Method of an Existing Reinforced Concrete Building According to TBDY 2018, Master Thesis, Istanbul University-Cerrahpaşa Graduate Education Institute.
- Erdel, B., (2019). Investigation of a Building with Insufficient Earthquake Resistance According to TBDY2018 and a Reinforcement Proposal, Balıkesir University, Institute of Science and Technology.

Süper Emici Polimer Katkılı Harçların Isıl İşlem ile Hava Küründe Mekanik Özellikleri

Mechanical Properties of Super Absorbent Polymer Added Mortars in Heat Treatment and Air Curing

¹Hasan DİLBAS, ²Furkan BİRDAL

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Van
²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Kırşehir

Doi: 10.51764/smutgd.1217163

Geliş Tarihi : 10.12.2022

ÖZET

Kabul Tarihi : 26.03.2023

Günümüzde süper emici polimerlerin kullanım alanları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu polimerlerin beton karışımı içerisindeki davranışları ve betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Bununla birlikte, süper emici polimerlerin harç ve çimento pastası fazları üzerindeki etkileri de önemli bir araştırma konusudur. Bu makale kapsamında, süper emici polimer katkılı harçların farklı kür şartları altındaki mekanik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, 18 adet süper emici polimer katkılı ve 3 adet katkısız harç fazında 15x15x15 cm boyutlu küp numuneler üretilmiştir. Süper emici polimer katkılı harçlarda, polimer katkı oranı literatürden optimum %0,3 olarak belirlenmiştir. Deney numuneleri süper emici polimer katkılı, ısıl işlem uygulanmadan 3-5-10 gün hava küründe ve 1 gün ısıl işlem uygulaması ardından 2-4-9 gün hava kürü koşullarına göre sınıflandırılmıştır. Her bir deney numunesi için aksel basınç dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlardan, numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerin karşılaştırılması neticesinde, süper emici polimer katkılı harçların mekanik performansında (aksel basınç dayanımı, elastisite modülü ve enerji tüketme kapasitesi) en efektif ısıl işlem ve hava kürü kombinasyonu belirlenmiştir. Çalışmamız ile, süper emici polimer katkılı beton, bu betondan üretilmiş yapı taşıyıcı sistem elemanı (kolon, kiriş, perde, döşeme, vb.) davranışları ve süper emici polimer katkılı betonun teorik olarak modellenmesi bilimsel araştırmalarına katkı sunulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süper emici polimer, kür koşulları, ısıl işlem, süper emici polimer katkılı beton.

ABSTRACT

The areas of use of superabsorbent polymers are rapidly expanding. The behavior of these polymers in the concrete mix and their effect on the mechanical properties of the concrete are investigated. However, the effects of superabsorbent polymers on mortar and cement paste phases are also an important research topic. In this article, the mechanical behavior of superabsorbent polymer-added mortars under different curing conditions has been experimentally investigated. In the experiments, 15x15x15 cm cubic 18 samples with super absorbent polymer and 3 samples as reference were produced. In the superabsorbent polymer-added mortars, the polymer additive ratio was determined as 0.3% in the literature. The test samples were classified according to the conditions of air curing for 3-5-10 days without heat treatment, with superabsorbent polymer additives and 2-4-9 days after 1 day of heat treatment. An axial compressive strength test was performed for each test sample. Stress-strain curves of the samples were obtained from the experimental results. As a result of the comparison of these curves, the most effective combination of heat treatment and air curing was determined in the mechanical performance (axial compressive strength, modulus of elasticity and energy consumption capacity) of the superabsorbent polymer added mortars. With our study, it is aimed to contribute to the scientific research of superabsorbent polymer added concrete, the behavior of the structural load bearing system element (column, beam, shear wall, slab, etc.) produced from this concrete, and the theoretical modeling of superabsorbent polymer added concrete.

Keywords: Super absorbent polymer, curing conditions, heat treatment, super absorbent polymer concrete.

¹Hasan DİLBAS, Orcid: 0000-0002-3780-8818, hasandilbas@yyu.edu.tr

²Furkan BİRDAL, Orcid: 0000-0002-2243-418X, f.birdal@ahievran.edu.tr

1. GİRİŞ

Polimerler, betonun farklı özelliklerini iyileştirmek için kullanılan en önemli malzemelerdendir. İşlenebilirlik geliştirici (örneğin, polikarboksillik eter esaslı akışkanlaştırıcı (Bravo, de Brito, Evangelista, & Pacheco, 2017)), yangın dayanımı artııcı (örneğin, polipropilen (Shihada, 2011)) ve daha birçok özelliklere (örneğin, bkz. Ref. (Y. Liu, Wang, Cao, & Sun, 2021)) sahip çeşitleri bulunmaktadır. Süper emici polimerler (SAP) farklı alanlarda farklı amaçlar için sıklıkla başvurulan endüstriyel malzemelerden birisidir ve inşaat sektöründe çimentonun bağlayıcı olarak kullanıldığı karışımlarda SAP içten kürlenme ile çimentonun hidrasyonunun uzun dönemde gelişimini sağladığı bilinmektedir (Igarashi, 2006; Zhang, Lu, Li, Ang, & Zhang, 2021). Harç karışımında süper emici polimerlerin kullanılması, harcın fiziksel-mekanik-kalıcılık özelliklerine yönelik birçok parametreyi değiştirebilmektedir. Süper emici polimerler (SAP) çok iyi su emme (100-400 g/g) ve suyu geri bırakma kapasitesine sahip hidrojel özellikte bir malzemedir (Wong, 2018) (Jensen, 2013). Süper emici polimerler harç karışım suyunun harç içerisindeki kontrolünü sağlayarak çimentonun zamana bağlı hidrasyonu açısından oldukça etkilidir. Literatürde SAP katkısının harç ve beton özelliklerine etkisi güncel bir araştırma konusudur (Shen et al., 2022). Bununla birlikte, SAP katkılı harç ve bu harçlardan oluşan betonların mühendislik uygulamalarında kullanılabilmesi için mekanik ve durabilite özellikleri açısından ilave çalışmalar ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, SAP katkılı harç veya betonların tasarımına ve kullanımına yönelik bir şartname bulunmamaktadır (Mechtcherine et al., 2021a). Literatürde bu alanda SAP katkılı betonların detaylı incelendiği bir araştırma raporu bulunmaktadır (RILEM Araştırma Raporu) (Mechtcherine & Reinhardt, 2012a). Diğer yönden, çimento esaslı yapı malzemelerinin kür koşullarına karşı duyarlı olduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmektedir (Erdoğan, 2007). Kürlenme genel olarak hava ve su kürü şeklinde uygulanmaktadır. Hava kürü çimentonun hidrasyonu için gereken su buharlaştığından dayanım açısından olumsuz olarak değerlendirilmektedir. Harç ve beton karışımların nihai (28 günlük) dayanıma erişmeleri için en az 7 gün su kürü uygulanması gerekmektedir. Süper emici polimer katkısı ile hava kürünün bu olumsuz etkisinin minimize edilebileceği düşünülmektedir (Du, 2018; Erdoğan, 2007; B. Liu, Luo, & Xie, 2018; Mehta & Monteiro, 2006; Sajedi & Razak, 2011). Ayrıca, ortam sıcaklığının hidrasyon üzerine olan etkisi de çimentonun sertleşme hızı ve hidrasyon kinetiği üzerinde etkili olduğu da görülmektedir (Pang et al., 2021). Ancak literatürde, çimentonun hidrasyonunun hızlanmasında 60°C üzeri sıcaklığın oransal olarak çok etkili olmadığı belirtilmektedir (Pang et al., 2021). Özetle, çimento esaslı yapı malzemelerinin kür tipine, kür koşullarına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak özelliklerinin değişkenlik gösterebildiği ve bu sebeple uygun ortam şartlarının sağlanması gerekliliği anlaşılmaktadır. Bu noktada, çimento esaslı yapı malzemelerinin yukarıda belirtilen etkenlere karşı farklı duyarlılık dereceleri sergilediği de göz önüne alınarak, SAP katkılı harçların farklı kür şartları ve kür tipleri altındaki davranışlarının literatürde az çalışıldığı görülmektedir. Bu alandaki literatüre katkı sağlamak için, çalışmamızda optimum oranda (bu oran %0,3'tür (Mechtcherine et al., 2021b, 2021a)) SAP içeren harç küp numuneleri laboratuvar ortamında üretilmiş, hava kürü ve ısı kürü + hava kürüne maruz bırakılan numuneler üzerinde 3., 5. ve 10. günlerde mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu, numunelerin aksel basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmalarda kullanılan 15 cm boyutlu küp numunelerin karışımında, ince agrega olarak silis esaslı dere kumu kullanılmıştır (Tablo 1). Karışımlarda bağlayıcı olarak genel amaçlı kullanıma yönelik olarak üretilen CEM I 42,5R tipi çimento dikkate alınmıştır (Tablo 2). Karışım suyu olarak, içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır. Su/çimento oranı literatürde yapılan benzer çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiş (Jensen, 2013) ve 0,47'dir. Kendi ağırlığının 60-100 katı (1/10-1/150 g/ml) su emme kapasitesine sahip SAP harç karışımı son aşamasında karışımlara dahil edilmiştir. Bu sayede, ıslak karışım üzerine eklenmesi ile karışımın işlenebilirliği optimum seviyede tutulabilmiştir. Sabit işlenebilirlik için karışımlara ayrıca akışkanlaştırıcı (polikarboksillik eter) da eklenmiştir. Karışımlarda, SAP ve süper akışkanlaştırıcı çimentonun ağırlıkça yüzdesi olarak dikkate alınmıştır. Karışımlar S2 çökme sınıfında üretilmişlerdir.

Tablo 1. Agrega özellikleri

	Boyutu (mm)	Yoğunluğu (g/cm ³)	Su emme değeri (%)
Dere kumu	0-4	2,62	1,21

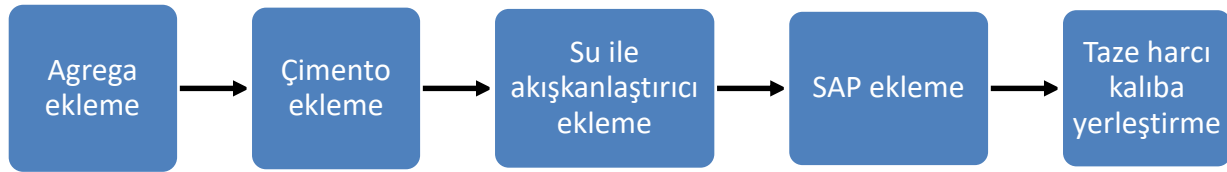
Tablo 2. Çimentonun özellikleri

İçerik	Nicelik
SiO ₂ (%)	19,19
Al ₂ O ₃ (%)	5,25
Fe ₂ O ₃ (%)	3,21
CaO (%)	61,52
MgO (%)	2,79
SO ₃ (%)	2,70
K ₂ O (%)	0,82
Na ₂ O (%)	0,35
Isıtma kaybı (%)	3,37
Blain inceliği (cm ² /g)	3871
Yoğunluk (g/cm ³)	3,09

Kullanılan malzemeler ile üretilen harçların karışım detayı Tablo 3'te verilmektedir. Ayrıca, karışımları oluştururken kullanılan adımlar Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 3. Karışım içerikleri

Karışım içeriği	Kontrol	M1	M2
Çimento, kg/m ³	360		
Su, kg/m ³	170		
Dere kumu, kg/m ³	1843,2		
Kimyasal katkı, %	0.80	1,00	1,05
Süper emici polimer, kg/m ³	-	%0,3	%0,3

**Şekil 1.** Karışım adımları

Üretilen numuneler, basınç testinin uygulandığı güne ve kür koşullarına bağlı olarak sınıflandırılmıştır. SAP katkılı deney numunelerine, ısıtma işlemi uygulanmadan 3-5-10 gün hava küründe ve 1 gün ısıtma işlemi uygulaması ardından 2-4-9 gün hava kürü (20°C ve %50 bağıl nem) uygulanmıştır. Böylelikle, numuneler farklı isimlendirilmişler ve detaylar Tablo 4'te verilmiştir. Çalışmada harçlarda, SAP'ın mekanik özellikler üzerindeki olumsuz etkilerini elimine etmek üzere ve numunelerden beklenen dayanım değerinin kısa sürede elde edilebilmesini sağlamak maksatlı olarak bazı deney numunelerine 24 saat 50°C ısıtma işlemi uygulanmıştır. Isıtma işlemindeki sıcaklığın 50°C seçilmesinde, hem literatür çalışmaları (Pang et al., 2021) hem de bu sıcaklığın yapı uygulamalarında ulaşılabilir olması etkili olmuştur. Numunelerin karışım içeriklerinin oluşturulmasında ve kür şartlarının dayanıma etkisinin gözlemlenmesinde, bu çalışmanın motivasyonu olarak 50 MPa basınç dayanımı elde edilebilmesi belirlenmiştir.

Tablo 4. Kür detayları

Notasyon	Numune sayısı	Isıtma işlemi	SAP, %	Kürleme	Test günü
Kontrol	3	-	-	Su	28
M1-3g-h0	3	-	0.3	Hava	3
M2-3g-h1	3	50°C 24s	0.3	Isıtma+hava	3
M1-5g-h0	3	-	0.3	Hava	5
M2-5g-h1	3	50°C 24s	0.3	Isıtma+hava	5
M1-10g-h0	3	-	0.3	Hava	10
M2-10g-h1	3	50°C 24s	0.3	Isıtma+hava	10

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar neticesinde, kontrol numunesinin basınç dayanımı 55,4 MPa, elastisite modülü 36200 MPa bulunmuştur. Malzeme gevrek davranış sergilediği için, gerilme-şekil değiştirme eğrisinde sadece lineer kısım oluşmuştur. Gerilme-şekil değiştirme eğrisindeki lineer kısım dikkate alınarak tokluk değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır (Denk. 1).

$$Tokluk = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{2} = \frac{\sigma \cdot \frac{\sigma}{E}}{2} = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (1)$$

SAP katkılı ısıtma işlemi uygulanmamış harçların 3, 5 ve 10 günlük basınç ve elastisite modülü değerleri sırasıyla 47,7 MPa-19783 MPa, 46,8 MPa-18918 MPa ve 52,5 MPa-22251 MPa olarak bulunmuştur. Bu harçların tokluk değerleri ise 0,058-0,058-0,062 şeklinde elde edilmiştir. Sonuçlar 10 günlük SAP katkılı harcın dayanım olarak kontrol numunesinin %95'ine ulaştığını ancak elastisite modülünde %38 azalma olduğunu göstermiştir. Suya doymun hale gelen süper emici polimerler, ortama suyu verdikten sonra harç içerisinde agrega kadar dayanıklı olmayan bir bileşen oluşturmaktadır. Dolayısıyla, 28 gün suda bekletilmiş harca göre, SAP katkılı harcın elastisite modülü düşük çıkmaktadır. Bu etkinin oluşmasında, emdiği suyu harç karışımına zamanla veren polimerlerin bir müddet sonra harç içerisinde agregaya oranla daha düşük rijitlik ve dayanımlı boşluklu yapıları oluşturması şeklinde yorumlanmıştır. Isıtma işlemi uygulandığında, 10 günlük SAP katkılı harç basınç dayanımının kontrol numunesinin %98'ine ulaştığı ancak elastisite modülünde azalmanın devam ettiği görülmüştür. Ancak tokluk değerinin SAP içeren ısıtma işlemli 10 günlük harçlarda kontrol numunesine göre %76 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, SAP katkılı ısıtma işlemli harçlarda yaklaşık aynı basınç dayanımlı ve daha yüksek enerji tüketme kapasitesine sahip bir malzeme elde edilebilmiştir. Ancak, burada SAP katkılı numunelerin tamamı hava küründe bekletilmiş standart su kürü uygulanmamıştır. Ayrıca, harç içerisinde süper emici polimerlerin çimentonun hidratasyonu için gereken suyu tam olarak karışıma vermeden ısıtma işlemi uygulamanın harç dayanımı açısından olumsuz bir sonuç ortaya çıkardığı görülmüştür. Burada, hava küründe bekleme süresinin ısıtma işlemi uygulanmadan sonra en az 5 gün olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. 10 günlük harç sonuçlarında ise, ısıtma işlemi uygulanması harç dayanımında çok az bir artışa sebep olmuştur. Bununla birlikte, ısıtma işlemi elastisite modülünü düşürmüştür. Bu durum, SAP katkılı harçlarda ısıtma işlemi uygulamasının çok büyük bir olumlu etkiye sahip olmadığını göstermiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Deney sonuçları

Numune serileri	Yaş, gün	SAP, %	Basınç dayanımı, MPa	Elastisite modülü, MPa	Tokluk
Kontrol	28	0	55,4	36200	0,042
M1-3g-h0	3	0,3	47,7	19783	0,058
M2-3g-h1	3	0,3	38,8	16917	0,044
M1-5g-h0	5	0,3	46,8	18918	0,058
M2-5g-h1	5	0,3	45,9	15738	0,067
M1-10g-h0	10	0,3	52,5	22251	0,062
M2-10g-h1	10	0,3	54,4	20088	0,074

Literatürde bu alanda en önemli kaynak olarak yer alan RILEM Raporu'nda (225-SAP) (Mechtcherine & Reinhardt, 2012b) yapılan çalışmalarda 0,30 su/bağlayıcı oranında ve %0,7 SAP katkısında dayanımda kontrol harç numunesine göre düşük basınç dayanımı sonuçları elde edildiği görülmüştür. Ancak yapmış olduğumuz çalışmada, su/bağlayıcı oranı 0,50 yapılarak ve SAP katkısı %0,3 olarak değiştirilerek kontrol numunesine göre daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, elastisite modülü değerleri SAP katkılı harçlarda kontrol numunesine göre daha düşüktür. Bu sebeple, SAP katkılı harçlardan beton üretiminde elastisite modülünü artırıcı önlemlerin alınması gerekmektedir (mineral katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı azaltımı, daha yüksek dayanımlı agrega kullanımı, vb. (Erdoğan, 2007; Mehta & Monteiro, 2006)).

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, SAP katkılı harçların hava küründe ve ısıtma işlem etkisi altında mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak;

- CEM I 42,5R tipi çimento kullanılarak su/çimento oranı 0,50 olan %0,3 SAP katkılı harçların 10 gün hava küründe basınç dayanımının 28 günlük suda bekletilmiş kontrol harç numunesi basınç dayanımına ulaşabildiği,
- Harç içerisinde süper emici polimer katkıları sayesinde 28 gün standart su kürü uygulamasının gerekli olmadığı ve hava kürünün harç dayanımı için yeterli olabileceği,
- SAP katkılı harçların kontrol numunelerine göre daha tokluk değeri yüksek bir davranış sergilediği,
- SAP katkılı harçların elastisite modülünün kontrol numunesi değerlerine göre daha düşük olduğu,
- SAP katkılı harçlara ısıtma işlem uygulamasının çok büyük bir etki meydana getirmediği hatta 3 ve 5 günlük hava küründe dayanım azalmasına sebep olduğu,
- SAP katkılı beton üretiminde harçlarda belirlenen elastisite modülü azalımı dikkate alınarak karışım tasarımında önlemler alınması gerektiği,

belirlenmiştir. İlerleyen çalışmalarımızda, SAP katkılı beton ve bu betondan üretilmiş yapısal elemanların davranışları incelenecektir.

5. ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

6. ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI ÖZETİ

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

7. KAYNAKLAR

- Bravo, M., de Brito, J., Evangelista, L., & Pacheco, J. (2017). Superplasticizer's efficiency on the mechanical properties of recycled aggregates concrete: Influence of recycled aggregates composition and incorporation ratio. *Construction and Building Materials*, 153, 129–138. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.103>
- Du, S. (2018). Effect of curing conditions on properties of cement asphalt emulsion mixture. *Construction and Building Materials*, 164, 84–93. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.179>
- Erdoğan, T. (2007). *Beton (in Turkish)* (2nd ed.). Ankara Turkey: METU Press.
- Igarashi, S. (2006). Experimental study on prevention of autogenous deformation by internal curing using super-absorbent polymer particles. In *International RILEM Conference on Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation* (pp. 77–86). RILEM Publications. Retrieved from <https://doi.org/10.1617/2351580052.009>
- Jensen, O. M. (2013). Use of Superabsorbent Polymers in Concrete. *Concrete International*, January 2013, 48–52.
- Liu, B., Luo, G., & Xie, Y. (2018). Effect of curing conditions on the permeability of concrete with high volume mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, 167, 359–371. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.190>
- Liu, Y., Wang, L., Cao, K., & Sun, L. (2021). Review on the Durability of Polypropylene Fibre-Reinforced Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–13. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2021/6652077>
- Mechtcherine, V., & Reinhardt, H.-W. (Eds.). (2012a). *Application of Super Absorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction*. Dordrecht: Springer Netherlands. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2733-5>
- Mechtcherine, V., & Reinhardt, H.-W. (Eds.). (2012b). *Application of Super Absorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction*. Dordrecht: Springer Netherlands. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2733-5>
- Mechtcherine, V., Wyrzykowski, M., Schröfl, C., Snoeck, D., Lura, P., de Belie, N., ... Igarashi, S.-I. (2021a). Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report. *Materials and Structures*, 54(2), 80. Retrieved from

<https://doi.org/10.1617/s11527-021-01668-z>

- Mechtcherine, V., Wyrzykowski, M., Schröfl, C., Snoeck, D., Lura, P., de Belie, N., ... Igarashi, S.-I. (2021b). Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report. *Materials and Structures*, 54(2), 80. Retrieved from <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01668-z>
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties and Materails* (Third Edit). New York: The McGraw-Hill. Retrieved from <https://doi.org/10.1036/0071462889>
- Pang, X., Sun, L., Sun, F., Zhang, G., Guo, S., & Bu, Y. (2021). Cement hydration kinetics study in the temperature range from 15 °C to 95 °C. *Cement and Concrete Research*, 148, 106552. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106552>
- Sajedi, F., & Razak, H. A. (2011). Effects of curing regimes and cement fineness on the compressive strength of ordinary Portland cement mortars. *Construction and Building Materials*, 25(4), 2036–2045. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.043>
- Shen, D., Li, C., Kang, J., Liu, K., Liu, C., & Li, M. (2022). Influence of Loading Ages on the Early Age Tensile Creep of High-Strength Concrete Modified with Superabsorbent Polymers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(5). Retrieved from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004207](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004207)
- Shihada, S. (2011). EFFECT OF POLYPROPYLENE FIBERS ON CONCRETE FIRE RESISTANCE / POLIPROPIRENO PLUOŠTOJ TAKA BETONO ATSPARUMUI UGNIAI. *Journal of Civil Engineering and Management*, 17(2), 259–264. Retrieved from <https://doi.org/10.3846/13923730.2011.574454>
- Wong, H. S. (2018). Concrete with superabsorbent polymer. In *Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures* (pp. 467–499). Elsevier. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102181-1.00017-4>
- Zhang, S., Lu, Z., Li, Y., Ang, Y., & Zhang, K. (2021). A Method for Internal Curing Water Calculation of Concrete with Super Absorbent Polymer. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–14. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2021/6645976>

DeneySEL Mimarlık Üretiminde İnsansız Hava Araçlarının Rollerini

Roles of Unmanned Aerial Vehicles in Experimental Architecture Production

Hakan İMERT

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul

Doi:10.51764/smutgd.1225719

Geliş Tarihi : 28.12.2022

Kabul Tarihi : 26.03.2023

ÖZET

Teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak deneySEL mimarlık üzerine yapılan çalışmalar mimarlıkta üretim şekillerinin çeşitlendirilmesinde önemli roller oynamaktadır. Üretim ve hizmet süreçlerinde robot kullanımı için artan talepler, deneySEL mimarlık üzerine çalışan uzmanların dikkatini çekmektedir. Bu sayede insansız hava araçları da üretim süreçlerinde önemli bir özne haline gelmektedir. Bu çalışmanın amacı, insansız hava araçlarının rollerini mimarlık üretimine getirdiği yenilikçi çözümler üzerinden keşfetmeye dayanmaktadır. Araştırma oluşturulan kavramsal çerçeve paralelinde deneySEL mimarlıkta insansız hava araçları ile üretime dair durum çalışmalarına odaklanmaktadır. Bu çalışmalara ait nesnel veriler SWOT analizi yöntemi ile sundukları güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler üzerinden değerlendirilmektedir. Yapılan incelemeler neticesinde, durum çalışmaları içerisinde benzer teknoloji ile üretilmelerine rağmen farklı güçlü ve zayıf yönlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Ancak, ortaya çıkan fırsatlar ve tehditlerin durum çalışmaları arasında benzerlikleri de söz konusudur. Seçili örnekler ile sınırlandırılan çalışma sonucunda, insansız hava araçları ile hibrit üretimin dünyada mevcut mimarlık anlayışlarını değiştirecek bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Araçları, DeneySEL Mimarlık, Robotlar

ABSTRACT

Current studies on experimental architecture play an important role in the diversification of production forms in architecture with the rapid growth of technology. Increasing demands for the use of robots in production and service processes attract the attention of experts working in experimental architecture. This study explores unmanned aerial vehicles' roles through their innovative solutions to architectural production. This research focuses on case studies for the production of unmanned aerial vehicles in experimental architecture within the conceptual framework. The objective data of these studies are evaluated with the SWOT analysis method through their strengths, weaknesses, opportunities, and threats. As a result of the examinations, it is seen that different strengths and weaknesses have emerged in the case studies, although they are produced with similar technology. However, there are also similarities between case studies of emerging opportunities and threats. Thus, it is understood that hybrid production with unmanned aerial vehicles, which is limited to selected examples, has an effect that will change the current understanding of architecture in the world.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Experimental Architecture, Robots

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte insan emeği yerine robotların kullanımı üretim ve hizmet süreçlerinde yavaş yavaş daha etkin hale gelmektedir. Şüphesiz, bu otomasyon süreçleri içerisinde insansız kara araçları (İKA) ve insansız hava araçları (İHA) önemli rollere sahip olmaktadır. İKA'lar günümüzde çoğunlukla parça besleme ve malzeme taşıma gibi görevlerde kullanılmaktadır (Khosiawan ve Nielsen, 2016). İHA'ların uygulamaları ise, nesnelerin interneti (IoT), 5G ve B5G'deki gelişmiş kullanımları nedeniyle olağanüstü bir şekilde genişlemektedir (Mohsan, Khan, Noor, Ullah ve Alsharif, 2022). Son on yılda gözetleme, lojistik, arama kurtarma (Khosiawan ve Nielsen, 2016), arkeolojik kazı alanı çalışmaları, üç boyutlu şehir modellerinin oluşturulması (Can ve Kahveci, 2017), kamu güvenliği, askeri operasyonlar, iç-dış mekân navigasyonu, atmosferik algılama, afet sonrası operasyonlar, yük taşımacılığı, orman yangını izleme gibi birçok alanda İHA kullanılmaktadır (Hassija, Saxena ve Chamola, 2020; Mohsan ve diğerleri, 2022). İHA Market Raporu'na göre, küresel pazar büyüklüğünün 2026 yılına kadar %9,4 bileşik yıllık büyüme hızı ile 41,3 milyar ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2021 senesinde 828 bin olan birim satışlarının ise, %10,6 bileşik büyüme hızıyla 2026 yılına kadar 1,4 milyona yükselmesi beklenmektedir (Schroth ve Bödecker, 2021). Tüm bu veriler, İHA'ların yeni ve çağdaş bir teknoloji olması nedeniyle ortaya çıkan taleplerin arttığını gözler önüne sermektedir. İnşaat sektörünün yeni teknolojileri yavaş benimsiyor olmasına rağmen İHA'lar mekân üretimini birçok yönden kolaylaştırma potansiyeline sahiptir (Li ve Liu, 2019).

Günümüzde dünyanın teknolojik olarak en gelişmiş imkanlarına sahip üniversiteler İHA ve robotik kollar ile yenilikçi ve deneysel üretimler üzerine çalışmaktadır. Bu üretimler mimari maket ölçeğinden iç ve dış mekânda gerçekleştirilen üretimlere kadar farklı boyutlarda örnekleri içermektedir (Pereira da Silva ve Eloy, 2021). Ancak, deneysel mimarlığın bir ürünü olarak ortaya çıkan bu yaklaşımlar ile gerçekleştirilen tüm projeler etki ve kapasitelerinin doğru anlaşılabilmesi noktasında bir analize ihtiyaç duymaktadırlar. Konu hakkında yapılmış spesifik çalışmalara nazaran bütüncül perspektifte İHA'ların görsel ve duysal inceleme görevleri dışında mimarlığın üretimi boyutunda oluşturulmuş sınırlı sayıda araştırmanın varlığı, güncel bir çalışmanın oluşturulmasında motivasyon ve önemlilik esaslarını belirlemektedir. Ayrıca çalışmanın ileride ortaya konulacak araştırmalara ışık tutabilecek güçlü bir veri arşivine katkı sağlanacağı da düşünülmektedir. Bu doğrultuda, araştırmanın kapsamını belirleyen aşağıdaki araştırma sorularına odaklanılmaktadır:

- İHA'ların deneysel mimarlık ölçütünde mekân üretimindeki güncel rolleri nelerdir?
- İHA'lar deneysel mimarlık üretimlerine nasıl katkılar sağlamaktadır?
- İHA'lar niçin deneysel mimarlığın üretimi içerisinde niçin tercih edilmelidir?

2. KURAM VE UYGULAMA ARASINDA BİR ARAKESİT: DENEYSEL MİMARLIK

İlerlemeyi ve insan refahını amaçlayan teknolojik bir programa sahip olunmaya başlandığı sanayi devriminden bu yana profesyonel dünya uzun bir yol kat etmiştir. Mükemmellik merkezlerinde üretilen bilginin nesnel olarak kurulmuş bir hipotezi doğrulaması ve empirik duysal deneyimin indirgenemez unsurlarına dayanması gereklilikleri doğmuştur. Bu sayede, deneysel üretim rekabet halindeki açıklayıcı teoriler için bir seçenek durumuna gelmiştir. Özellikle bu fikirlerin doruğa ulaştığı 2. Dünya Savaşı sonrası dönemdeki yeniden yapılanma sürecinde toplumlar tarafından profesyonellerin gerçek günlük sorunlara fiilen çözüm sağlama kapasiteleri sorgulanmaya başlamıştır (Florio ve Segall, 2009). Bu sorgulama süreçlerinden insanı referans alan mimarlık üretimleri de mutlaka etkilenmiştir. Geleneksel mimarlık üretim metotlarına karşı çıkan eleştirel tutumların yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra Archigram ve Superstudio gibi radikal mimari gruplar tarafından daha yüksek perdeden dillendirildiği gözlemlenmektedir (Erol, 2020).

Deneysel mimarlık kavramına ilk olarak 1970 yılında Archigram mimarlık oluşumunun kurucularından Peter Cook tarafından yazılan "Experimental Architecture" kitabında yer verilmiştir. Cook'un empirik yaklaşımı, mimarlığın yaşamın belirsizliği ile daha çok ilişkili olduğuna işaret etmektedir (Sadler, 2005). Söz konusu eleştirel yaklaşımların ortaya çıkmasında, mimarlık eyleminden insanların anlayış ve beklentilerinde ciddi farklılıklar ve sorunların olması büyük rol oynamaktadır (Hillier, 2007). Mimarlık pratiği çoklu ve disiplinler arası süreçlerin oluşturduğu zıtlıklar temelinde hareket eden, teknik olduğu kadar sanatla da ilişkide olan ve uygulama yapılmaksızın var olamayacak bir olguyu tarif etmektedir (Sağocak, 1999). Bu olgu 80'li yıllardan itibaren ofislerde tasarımın bir parçası haline gelen bilgisayar tabanlı üretimle desteklenmiş (Erol, 2020), gelişen teknoloji ile dördüncü sanayi devriminin kapıları açılmış (Xu, David ve Kim, 2018) ve bu süreç robotları karşımıza birçok alanda daha görünür şekilde çıkarmıştır (Agustí-Juan, Müller, Hack, Wangler ve Habert, 2017). Robotların üretimde eylem ve tepki aşamalarında belirsiz ancak esnek çalışmaya imkân veren süreçleri ortaya koyması (Braumann ve Brell-Cokcan, 2012), günümüzde birçok deneysel mimarlık üretimi içerisinde robotların

3. MEKÂN ÜRETİM SÜREÇLERİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

İHA'lar mekân üretim süreçlerinde birçok yeniliği beraberinde getirmiştir. Son birkaç yıl içerisinde İHA'lar raporlamadaki doğruluk oranını yükseltmek, güvenlik koşullarını iyileştirmek, maliyetleri düşürmek ve verimliliği arttırmak gibi şantiye alanlarında ihtiyaç duyulan konularda iyileştirmelerin sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Yıldız, Kıvrak ve Arslan, 2021). İHA'ların belirli bir uygulama için kullanılmasında dikkate alınması gereken üç unsur vardır. Bunlar; görev, çevre ve İHA operasyon sistemidir. Görev, İHA'lar tarafından gerçekleştirilecek bir faaliyettir. Farklı görev türleri arasında malzeme taşıma, kalite denetimi ve alan gözetim görevi bulunmaktadır. Çevre, İHA sisteminin kullanılacağı ortam ve altyapıdır. İHA operasyon sistemi ise, farklı tipte İHA'lar (robotik tutucu, görüntüleme cihazı ve sensör ile donatılmış), şarj merkezleri ve diğer kaynakları operasyonları gerçekleştirmek için kullanılmaktadır (Khosiawan ve Nielsen, 2016).

Uygulama alanlarında bir görüntüleme cihazı ve sensör ile donatılan İHA hem görsel hem de duyuşal inceleme olmak üzere zorlu ortamlarda görevlerini icra etmek için kullanılabilir. Bir robotik tutucu ile donatılan İHA ise, üretim ortamında malzeme taşıma görevlerini gerçekleştirmek için de kullanılabilir. Bu uygulama imkanları dahilinde İHA'lar üç boyutlu bir uzay boşluğunda 360 derece inceleme açısı ile çalışabilirlik gibi çeşitli avantajlar ile desteklenmektedir (Khosiawan ve Nielsen, 2016). Tüm bu kapsam içerisinde değerlendirilen İHA'lar için üç genel boyuttan bahsetmek mümkündür. Bunlar; minyatür, orta boy (15x15 cm) ve büyük boy (30 ila 40 cm) İHA'lar olarak kategorize edilebilmektedir. Büyük olanlar ön koşul olmadan açık havada uçabilmekte ve daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Pereira da Silva ve Eloy, 2021). Minyatür İHA'lar ise, daha çok maket gibi ölçeklendirilmiş mimarlık üretimlerinde karşımıza çıkmaktadır. Bu doğrultuda, proje safhasında oluşturulan sayısal tasarım verilerini uçan makinelerin davranışına çeviren matematiksel algoritmalarla uyumlu çalışan işbirlikçi robotlar ve/veya İHA'lar ile üretim süreçleri tamamlanmaktadır (Frederico Augugliaro ve diğerleri, 2014).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın materyali olarak İHA'lar deneysel mimarlık sürecinde üretimler için yenilikçi çözümler sunabilecek güncel bir teknoloji olmasından ötürü seçilmiştir. Bu doğrultuda, çalışmanın örneklemini İHA'lar kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiş yedi proje örneği oluşturmaktadır. Bu projelere hibrit üretim örnekleri de dahil edilmiştir (Bkz. Tablo 1). Materyallere ait tüm görsel veriler araştırma gruplarının ve üniversitelerin internet adresleri üzerinden elde edilmiş, ayrıca araştırmanın gerekli görülen yerlerinde paylaşılmıştır.

Çalışmanın metodu çerçevesinde ilk olarak İHA'ların maketten uygulamaya kadar çok geniş bir yelpaze içerisindeki mekân üretimi boyutunda değerlendirilebilecek teorik bilginin bütünleştirici değerlendirme ölçütüyle literatür incelemesi yapılmıştır. Söz konusu incelemeler doğrultusunda çalışma, İHA ile tamamlanmış üretimler için nitel bir araştırma metodu temelinde bir durum çalışmasıdır. Bahsi edilen örneklemin değerlendirilmesinde ise SWOT analizi yöntemi kullanılmıştır. SWOT analizi, bir süreç ya da durumun güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek, oluşması öngörülen fırsat ve tehditleri tespit etmek amacıyla kullanılan bir tekniktir (Helms ve Nixon, 2010). Bu sayede İHA'ların mevcut rolleri paralelinde yeni fırsatları gerçekleştirmek için güçlü yönlerden nasıl yararlanılabileceği, zayıflıkların ilerlemeyi nasıl yavaşlatabileceği veya tehditleri nasıl büyütebileceği iç ve dış girdiler listelenerek tespit edilebilmektedir. Tüm bu yönleriyle literatürde sıklıkla kullanılan SWOT analizi yönteminin, durum çalışmalarının analizi için en verimli yöntem olduğuna karar verilmiştir. SWOT analizine ait akış şemalarını içerir diyagramlar ise internet tabanlı, açık erişimli SankeyMATIC programı ile hazırlanmıştır. Bu doğrultuda, çok geniş uygulama alanlarında kullanılan İHA'ların deneysel mimarlığın bir parçası olarak üretim süreçlerine katkılarının, kısıtlarının ve gelecek potansiyellerinin analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ÜRETİLMİŞ PROJELERE BAKIŞ

5.1. ICD/ITKE Araştırma Pavyonu Projesi 2016/17

Proje Stuttgart Üniversitesi, Hesaplama Tasarım ve İnşaat Enstitüsü (*Institute for Computational Design and Construction-ICD*) ve Bina Strüktürü ve Yapısal Tasarım Enstitüsü (*Institute of Building Structures and Structural Design-ITKE*) tarafından 2016-2017 yılları arasında cam elyaf ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin bina ölçeğinde üretimini araştırmak amacıyla araştırma pavyonu ölçeğinde tasarlanmıştır. Tasarım sürecini kullanılan fiber malzemenin karakteristik özellikleri şekillendirmiştir. Bu malzemeler hafif fakat mukavemeti yüksek olduklarından, İHA'lar gibi düşük taşıma kapasiteli ancak uzun menzilli makineleri, güçlü ancak sınırlı erişime sahip endüstriyel robotlarla işbirlikçi olarak çalışabilmesini mümkün kılmaktadır (Resim 1). Bu işbirlikçi konsept ayrıca uzun açıklıklı fiber kompozit yapılar için ölçeklenebilir bir fabrikasyon kurulumuna da imkân

vermektedir. Bütünleştirici olarak hesaplamalı tasarım, mühendislik ve üretimi araştırıp sonuçlarını araştırma pavyonu üzerinde incelenmesine yön veren bir süreci içermektedir. Proje mimarlar, mühendisler, biyologlar, araştırmacılar ve öğrencilerden oluşan geniş bir ekip tarafından disiplinler arası bir sürecin sonucu olarak oluşturulmuştur (Früh, 2022; Solly ve diğerleri, 2017).

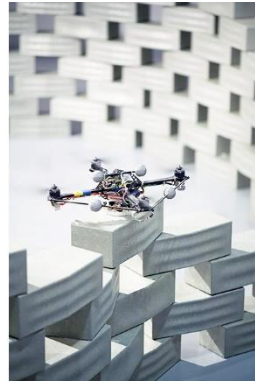
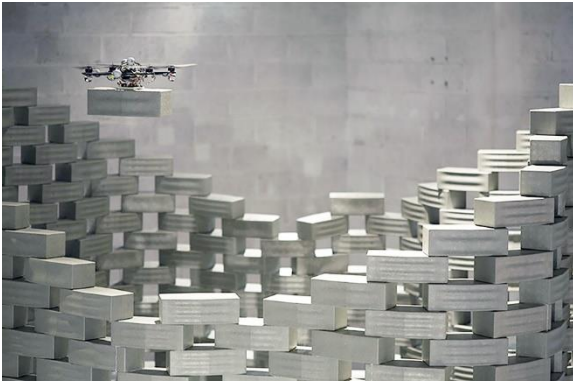


Resim 1. ICD/ITKE tarafından hibrit üretim süreciyle tamamlanan araştırma pavyonu (URL-1, 2022)

Standart endüstriyel fabrikasyon ekipmanının çalışma alanının ötesinde, uzun açıklıklı bir yapı inşa etmek birden fazla robotik sistemin kesintisiz bir fiber döşeme sürecini oluşturmada ara yüzü teşkil etmesini gerekli kılmaktadır. Spesifik olarak deney düzleminde fiber sarma işlemi için gerekli güç ve hassasiyete sabit iki adet endüstriyel robot kol uç noktalara yerleştirilirken, otonom ve hassasiyeti daha düşük olan İHA'lar aracılığıyla fiberlerin taşınması sağlanmaktadır (Solly ve diğerleri, 2017) (Resim 1.).

5.2. Uçuş Montajlı Mimarlık Projesi

İHA'lar kullanılarak yapılan ilk üretimlerden biri olarak kabul edilen proje 2012 senesinde Gramazio Kohler araştırma grubu ve robot mühendisi Raffaello D'Andrea tarafından uygulamaya sokulmuştur (Pereira da Silva ve Eloy, 2021). Bir mimarlık enstalasyonu şeklinde gerçekleştirilen proje kapsamında 1500 köpük modülden oluşan 6 metre yüksekliğinde bir kulenin tamamlanması İHA'lar vasıtasıyla sağlanmıştır. Enstalasyon, orijinal olarak dikey bir köy olarak tasarlanmış projenin 1:100 ölçekli modelidir (Frederico Augugliaro ve diğerleri, 2014) (Resim 2).



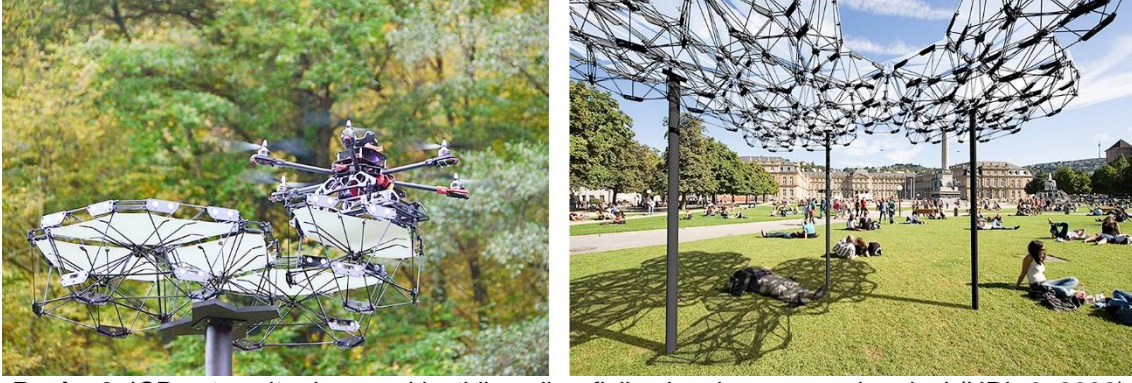
Resim 2. Gramazio Kohler tarafından gerçekleştirilen uçuş montajlı mimarlık projesi (URL-2, 2022)

Projenin tamamlanması doğrultusunda birçok yazılım ve donanım tasarlanması görevleri üstlenilmiştir. Buna göre, özel bir cımbız şeklinde aparat taşıyan 4 adet İHA, her uçuş yönünde tuğlayı tutmak için üzerinden delik açan pimlere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Komutları okuyan, İHA'ları kontrol eden, çarpışma olmayan bölgeleri ve yörüngeleri planlayan, yapıyı inşa eden ana bir kontrol yazılımı ile üretimin optimizasyonu artırılmıştır (D'Andrea ve diğerleri, 2011; Pereira da Silva ve Eloy, 2021).

5.3. Siber Fiziksel Makro Materyal Projesi

Siber Fiziksel Makro Malzemeler projesi, 2017 yılında Stuttgart Üniversitesi Hesaplamalı Tasarım ve İnşaat Enstitüsü'nde (ICD) kamusal alanlar için deneysel mimarinin somut bir vizyonunu göstermek için tez projesi kapsamında geliştirilmiştir. Modüler ve yeniden yapılandırılabilir gölgelik, dağıtılmış robotik yapı ve programlanabilir maddenin bir kombinasyonu ile sağlanmaktadır. İHA'lar kullanılarak yapılandırılan gölgelik, iklime veya güneş açısına gerçek zamanlı olarak yanıt verebilen modüler bileşenlerle oluşturulmuştur. Yapı, iletişim ve algılama için entegre elektroniklere sahip hafif karbon fiber filamandan yapılmış siber-fiziksel yapı malzemesinden oluşmaktadır. Çevik, çok yönlü bir gölgeliğin, güneşin konumuna göre büyük bir kamusal

alandaki otonom olarak hareket ettiği, oturanlara gölge sağladığı ve zaman zaman tamamdaki çatılara çekilirken oturanlara hizmet etmek için aktif olarak kendini yeniden inşa ettiği bir sistemi içermektedir (Wood ve diğerleri, 2019) (Resim 3).



Resim 3. İCD çatısı altında gerçekleştirilen siber fiziksel makro materyal projesi (URL-3, 2022)

5.4. İHA ile 3D Baskı Projesi

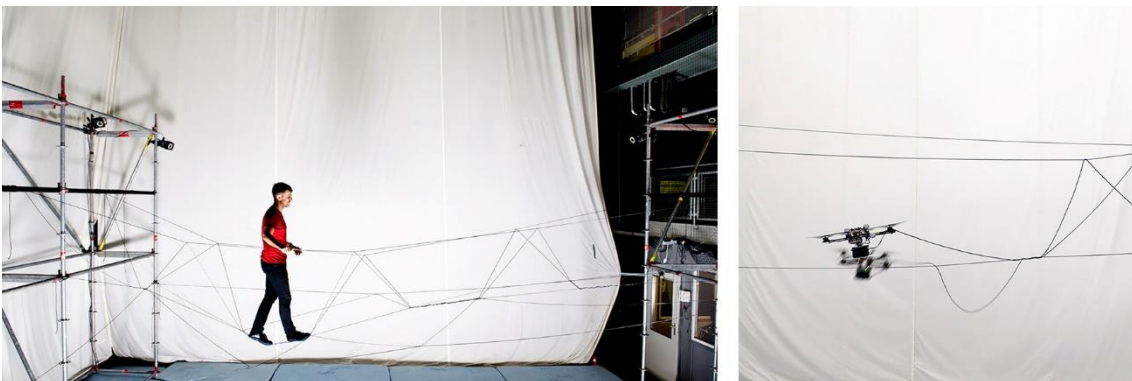
2022 yılında projelerini Nature dergisinde yayınlayan Londra Emperyal Koleji ve EMPA araştırmacıları, yapıları sürüler halinde yazdırabilmek için İHA'lara üç boyutlu yazıcılar entegre etmişlerdir. İHA'lar polimerik kompozit karışımli çimento malzemeyi yüksek yapılar inşa etmeye yetecek hassasiyette biriktirebilmek için özel olarak tasarlanmıştır. Prototip niteliğinde hazırlanan projede kubbe benzeri geometri ve çoklu robot simülasyonlarına cevap veren, 72 kat hızlı sertleşen yalıtım köpüğü malzemesinden oluşan, 2,05 metre yüksekliğinde bir silindir ve 28 kat yapısal psödoplastik çimentolu malzemeden yapılmış konsept kanıtı baskılar üretilmiştir (Zhang ve diğerleri, 2022) (Resim 4).



Resim 4. Londra Emperyal Koleji ve EMPA araştırmacıları tarafından İHA ile 3D baskı projesi (URL-4, 2022)

5.5. Uçuşla İnşa Edilmiş Halat Köprü Projesi

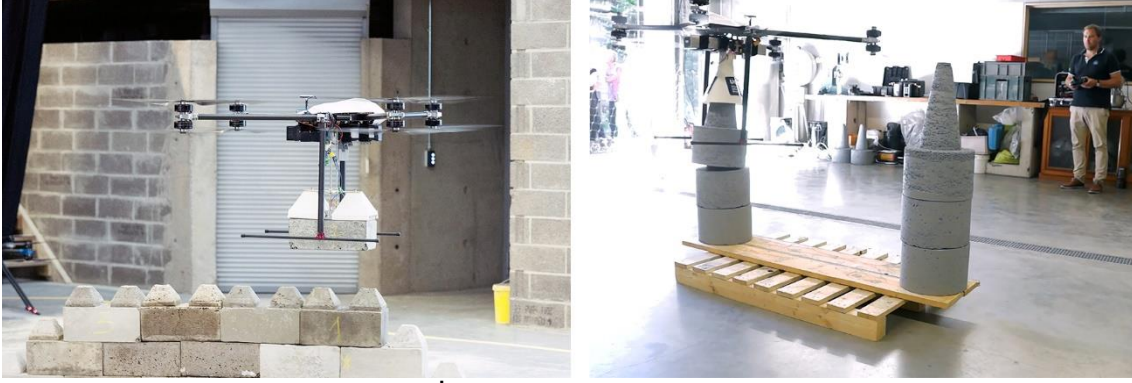
Proje 2012 senesinde, ETH Zürih desteğiyle FMA (Flying Machine Arena) ekibi tarafından tamamlanmıştır. Bir kişinin geçebileceği şekilde tasarlanmış halat köprü projesi İHA'lar tarafından üretilmiştir. Köprü, yapının her iki ucundaki gerekli ankraj noktaları dışında tamamen germe elemanlarından oluşmakta olup, bağlantıları tamamen uçan makinelerle gerçekleştirilmiştir. İki iskele yapısı arasında 7,4 m uzanan köprü, yaklaşık 120 m toplam halat uzunluğu için dokuz halat parçasından oluşmuş, düğüm ve örgü gibi farklı unsurlardan meydana getirilmiştir (Federico Augugliaro, Mirjan, Gramazio, Kohler ve D'Andrea, 2013) (Resim 5).



Resim 5. FMA ekibi tarafından tamamlanan halat köprü projesi (URL-5, 2022)

5.6. İHA ile Yığma Yapı Oluşturma Projesi

Louvain Katolik Üniversitesi ile MIT üniversitelerinden Pierre Latteur önderliğindeki çalışma grubu araştırmalarına 2014 senesinde başlamış, 2018 senesinde sonuçlarını bir makale ile yayınlamışlardır. Bu projenin amacı, gerçek ölçekli yığma yapıların büyük özel yapım İHA'lar ile inşa edilmesi için konsept kanıtı üretimler gerçekleştirmektir. Yapılan denemeler doğrultusunda 12 kg ağırlığındaki İHA'ların 20 kg ağırlığındaki beton blokları yığma duvar inşası için herhangi bir yönde kontrolsüz sıçrama olmaksızın örebildiğini ortaya koymuştur (Goessens, Mueller ve Latteur, 2018) (Resim 6).



Resim 6. Latteur ve ekibinin İHA ile yığma yapı oluşturma projesi (URL-6, 2022)

5.7. Afet-Mülteci Sığınağı İçin Yapı Kabuğu Katmanı Oluşturma Projesi

2018 Londra Tasarım Festivali'nde Stephanie Chaltiel ve ekibi, bir İHA tarafından kil ve elyaf karışımı püskürtülen ahşap bir kafese tutturulmuş saman torbalarından jeodezik kubbeli bir afet ve mülteci sığınağını inşa etmiştir. Bu projenin amacı, mülteci kamplarında veya afet bölgelerinde ucuz, hafif ve kolayca bulunabilen malzemelerden hızlı bir şekilde 4 gün içinde imal edilebilen sığınaklar üretmektir. Samanla dolu küçük çuvallar jeodezik kubbe üzerine monte edildikten sonra üzerlerine İHA tarafından kaplama katmanı püskürtülmüştür. Bu katman altındaki yapı elemanlarını birbirine bağlarken, aynı zamanda hava koşullarına dayanıklı bir kabuk oluşturmaya yardımcı olmuştur (Chaltiel, Bravo, Veenendaal ve Sayers, 2020) (Resim 7).



Resim 7. Chaltiel ve ekibinin Afet-Mülteci sığınağı projesi (URL-7, 2022)

6. BULGULAR

Bu bölümde İHA'ların deneysel mimarlık ekseninde üretime katkıları, beşinci bölümde yer alan çalışmaların ortaya koyduğu nesnel veriler ışığında SWOT analizinin bir çıktısı olarak güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler başlıkları altında incelenmiştir. Bulguların analizine yardımcı olması amacıyla Tablo 1. durum çalışmalarını tanımlar kısa rumuzlar verilerek hazırlanmıştır (Bkz. Tablo 1). Böylelikle proje çıktılarına ait tablodaki bulgular belirginleştirilerek tartışma zemini oluşturulması amaçlanmaktadır.

Tablo 1. Durum çalışmalarına ait SWOT analizi tablosu

Proje Tanımı	Üretim Şekli	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler	Fırsatlar	Tehditler
P1 Araştırma Pavyonu	Hibrit (İHA + Robot Kol)	Bütünleşik üretim, Daha küçük hata payı, Üretimde yüksek hassasiyet	Sınırlı ağırlık taşıma kapasitesi, Yavaş işlem hızı	Mekânsal kısıtlamanın olmayışı, İşbirlikçi imalat süreci	Dış unsurlara karşı hassas, Yazılım-donanım tutarsızlığı, Donanım arızaları
P2 Karmaşık Geometriye Sahip 6 metre Kule	İHA	Otonom üretim, Daha küçük hata payı, Hareket yakalama sistemi	Sınırlı ağırlık taşıma kapasitesi, Gerçek ölçekli montajda yetersizlik	Mekânsal kısıtlamanın olmayışı, Uçuşla montaj için net ara yüzler oluşturma	Dış unsurlara karşı hassas, Donanım arızaları
P3 Dinamik Gölgeleme Sistemi	İHA	Otonom yeniden düzenleme, Daha küçük hata payı, Etkileşimli davranış	Sınırlı ağırlık taşıma kapasitesi, Durağan çalışma yeteneği	Mekânsal kısıtlamanın olmayışı, İşbirlikçi imalat süreci	Dış unsurlara karşı hassas, Donanım arızaları
P4 İHA ile 3D Baskı (Konsept Kanıtı Geometriler)	İHA	Otonom baskı, Eklemeli imalat, Çoklu üretim imkânı	Sınırlı ağırlık taşıma kapasitesi	Mekânsal kısıtlamanın olmayışı	Dış unsurlara karşı hassas, Donanım arızaları
P5 Halat Köprü	İHA	Otonom üretim, Daha küçük hata payı	Sınırlı ağırlık taşıma kapasitesi	Mekânsal kısıtlamanın olmayışı	Dış unsurlara karşı hassas, Donanım arızaları
P6 Yığma Yapı Duvarları Oluşturma	İHA	Yüksek ağırlık taşıma kapasitesi	Kaldırma sistemindeki eksiklikler, Sapma açısı	Mekânsal kısıtlamanın olmayışı	Dış unsurlara karşı hassas, Donanım arızaları
P7 Afet-Mülteci Sığınağı	Hibrit (İHA + İnsan Gücü)	Püskürtme yapabilme	İnsan kontrolüne ihtiyaç, Kısıtlı çalışma alanı	İşbirlikçi imalat süreci	Dış unsurlara karşı hassas, Donanım arızaları

Tablo 1.'de yer verilen bulgular ışığında, araştırmaya konu olan proje örnekleri üzerinde yapılan gözlem ve incelemeler neticesinde ortaya konulan çıkarımlar aşağıda sıralanmış ve akış şeması Sankey diyagramında verilmiştir (Bkz. Şema 1):

P1: Araştırma pavyonu projesinde, kısa menzilli yüksek hassasiyetli robotlar ile uzun menzilli düşük hassasiyetli İHA'lar olmak üzere birden fazla fabrikasyon aracı arasında işbirlikçi bir imalat sürecinin mümkün olduğu kanıtlanmaktadır. Buna ek olarak, proje içerisinde uzun açıklıklı kompozit üretim için gelecekteki araştırmalarda referans alınabilecek gerilim kontrol mekanizmaları ve hacimsel sarma stratejileri gibi sistem bileşenleri geliştirildiği görülmektedir. Ancak sürecin en büyük eksikliğinin, yavaş işlem hızı ile yazılım ve donanım tutarsızlıkları olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, geride kalan bazı elyaf parçalarının otomatik olmayan yöntemlerle yapıya uygulanması mecburiyetleri doğmuştur. Bu nedenle, endüstriyel üretim senaryosu için üretimin bazı noktalarda geliştirilmesi ihtiyaçları ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

P2: Uçuş montajlı mimarlık projesi, hava araçlarının yapı inşa etme yeteneğini gösteren bir kavram kanıtı olarak değerlendirilmektedir. Proje içerisinde kurulum, araç konumu ve tutumunu gözlemlenmek için bir hareket yakalama sistemi kullanılmasına rağmen uygulama sırasında kullanılan makinelerin taşıma kapasitelerinin sınırlı olduğu saptanmaktadır. Bu doğrultuda gerçek boyutlu üretim için çözüm oluşturmayan ancak maket ölçeğinde uygulamaya cevap veren bir projenin var olduğu anlaşılmaktadır.

P3: Dinamik gölgeleme sistemi projesinde, İHA'lar ile yeniden yapılandırılabilir bir uygulamanın gerçekleştirildiği saptanmaktadır. Uygulama için tekil bir robotik montaj veya yapım yönteminden ziyade davranışsal tasarım modelleriyle yönlendirilen otonom yeniden düzenleme ve durağan çalışma yeteneğine sahip çıktılar elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu işlevsel çerçeve içerisinde İHA'ların, karbon fiber ünitelerden oluşan ve kendi kendini modüler formlar üzerinden şekillendirebilen bir gölgeleme sistemi oluşturulmasında kilit rol oynadığı gözlemlenmektedir.

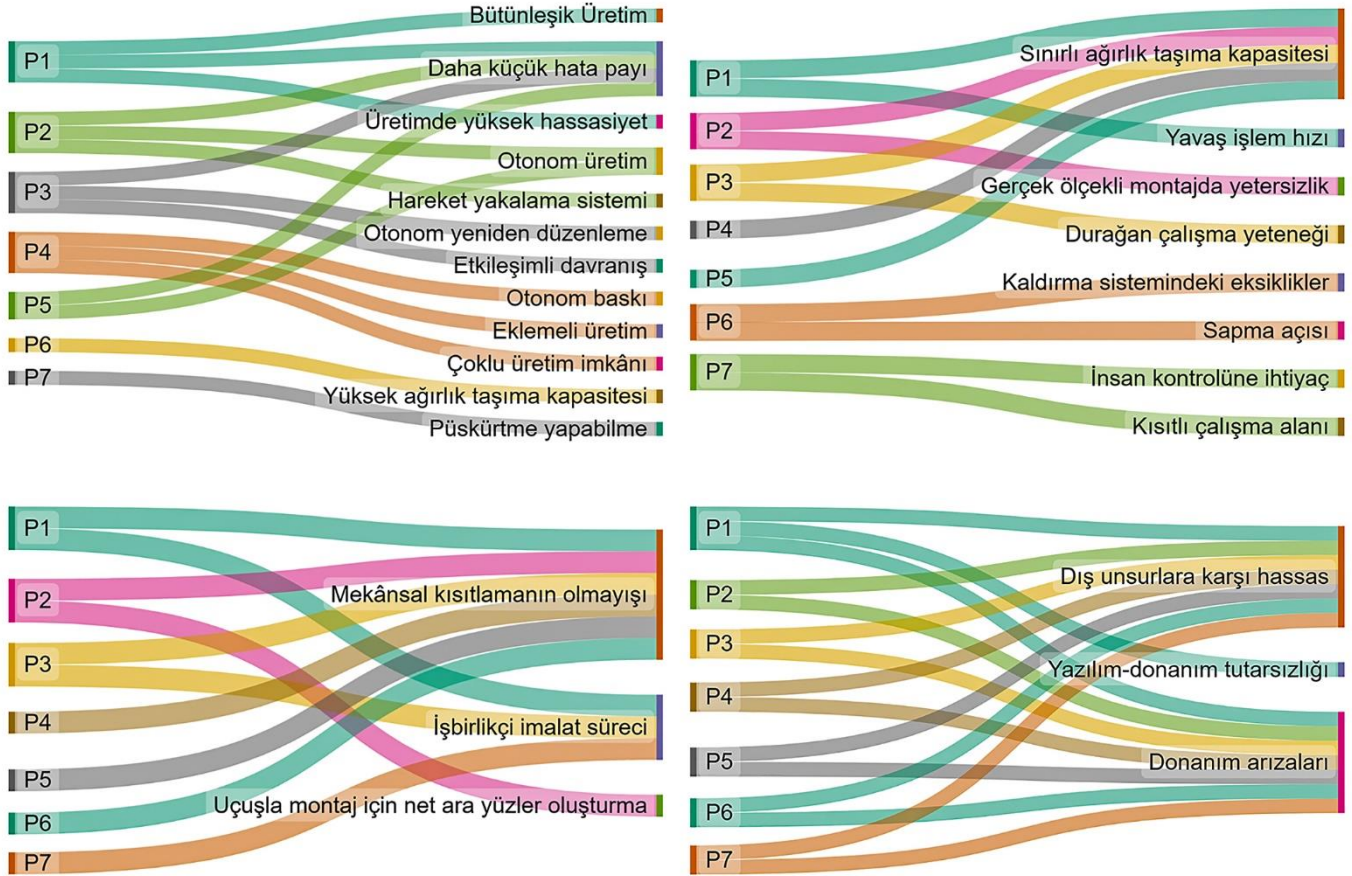
P4: İHA ile 3D baskı projesinde, malzemeyi üç boyutlu olarak yazdırabilen ve kalitesini gerçek zamanlı ölçebilen İHA sistemlerinin oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda, gerçek zamanlı model tahminine dayalı kontrol şemasını da içeren bir konsept kanıtı baskı sürecinin gerçekleştirildiği gözlemlenmektedir.

P5: Halat köprü projesi, havada düğüm atabilen İHA'ların otonom olarak yük taşıyan çekme yapıları inşa etme yeteneği gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca çalışma düğümünün nihai kalitesini iyileştirmek için bir öğrenme şemasının kullanılabileceğini göstermektedir. Bu durumun karmaşık germe yapıların İHA'larla montajı için önemli bir aşama olduğu tespit edilmiştir.

P6: Yığma yapıların oluşturulması için duvar montajı yapan İHA'ların 20 kg ağırlığındaki blokları "tak ve yerleştir" işlemine göre gerçekleştirebilmesi için çeşitli sistemler geliştirildiği anlaşılmaktadır. İHA'ların bloklara gömülü

çelik plakalara entegre edilmiş elektromıknatıslarla donatılarak taşıma işlemlerinin gerçekleştirildiği saptanmıştır. Ancak bu durum her ne kadar düşük bir güç tüketimi ve yüksek bir verim içeriyor olsa da üretimde optimizasyon süreci için sorunlar barındırmaktadır: Örneğin; sonraki evrelerde çelik levhaların malzemeye eklenmemesi gerekliliği ve kaldırma sisteminin muhtemelen buna göre uyarlanması gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, İHA'ların görüntü analizi yaparak yükü doğru yere bırakmasını sağlayan yönlendirme sistemlerine ihtiyaç duyduğu anlaşılmaktadır.

P7: Afet-mülteci sığınağı projesinde yerel malzeme kullanımı ile İHA'ların ilişkilendirildiği saptanmıştır. Oluşturulmuş jeodezik kubbe üzerine yerleştirilen tekstil tabanlı yapı kabuğuna İHA'ların uçuş yeteneği ile püskürtme yapılarak işbirlikçi bir uygulama sürecinin oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Kil, kum, pirinç kabuğu gibi karışımlardan oluşmuş biyoharçların püskürtme yoluyla jüt torbaların üzerine aktarılmasının uygulama ölçeği göz önüne alındığında başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Ancak, püskürtme aletinin entegrasyonu çerçevesinde uçuş hızı ve püskürtmede homojen bir kaplama oluştururken dış etkenlere bağlı olarak çeşitli zorluklar oluşabileceği düşünülmektedir.



Şema 1. SWOT analizine ait akış şemasını içerir Sankey diyagramı (Soldan sağa: güçlü-zayıf yönler, fırsatlar, tehditler)

7. TARTIŞMA

Bu çalışma, deneysel mimarlık özelinde son on yıl içerisinde İHA'lar ile uygulaması tamamlanmış projelere odaklanmaktadır. Bu projeler içerisinde beş tanesi İHA'lar (P2, P3, P4, P5, P6), diğer iki tanesi ise hibrit üretim (P1, P7) ile tamamlanmıştır (Bkz. Tablo 1). Üretim süreçlerinde dikkat çeken ilk husus malzeme kullanımındaki farklılıklardır. Köpük tuğlalar, özel yapım karbon fiber modüller, halatlar, polimerik kompozit karışimli çimento ve beton bloklar gibi farklı malzemeler kullanılarak üretim süreçlerinin gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır (Federico Augugliaro ve diğerleri, 2013; D'Andrea ve diğerleri, 2011; Goessens ve diğerleri, 2018; Wood ve diğerleri, 2019; Zhang ve diğerleri, 2022). Tüm deneysel mimarlık çalışmaları için her ne kadar farklı malzemeler kullanılmış olsa da seçilen yapı üretim teknolojisinin neden olduğu benzer güçlü ve zayıf yönler ortaya çıkmaktadır (Bkz. Tablo 1). Bununla birlikte, malzemenin uygulanma süreçlerinde püskürtme yapılarak doğal bir biyoharç malzemesinin kullanımı (Chaltiel ve diğerleri, 2020), robotik tutucu ekleyerek blokların yakalanıp taşınması (D'Andrea ve diğerleri, 2011; Goessens ve diğerleri, 2018) ya da yazdırma başlığı ile basılabilmesi (Zhang ve diğerleri, 2022) tek bir amaç için üretilmiş uç efektörlerinin (Gramazio ve Kohler, 2008; Weissenböck, 2015) uygulamanın ihtiyacını belirler şekilde farklılık gösterebileceğini ve uygulama imkanlarını arttırabileceğini ortaya koymaktadır.

İHA'ların kullanımı, mekânsal bir kısıtlama olmadığından ötürü daha geniş bir alanda uygulama özgürlüğü sunmaktadır. İHA'lar hızlıdır ve klasik mimarlık üretimleri ile kıyaslandığında ek donanım ve yazılımlar kullanılarak daha düşük hata payına sahip oldukları görülmektedir. Ancak, üretim süreçlerinde kullanılan yazılım ve donanımlardaki tutarsızlıklar ile arızalar optimizasyon süreçlerini etkileyen önemli dezavantajlardır. Bunlarla birlikte, İHA'ların taşıma kapasiteleri düşüktür (Pereira da Silva ve Eloy, 2021). Fakat, P6 örneğinde görüldüğü gibi taşıma kapasitelerinin arttırılabilme imkânları bulunmaktadır. Ayrıca, proje üzerinde yapılan gözlemler ışığında İHA'ların dış unsurlara karşı hassas oldukları anlaşılmaktadır. Bu noktada daha güçlü ve hassasiyeti yüksek İHA'ların geliştirilmesi önemli hale gelmektedir. Böylelikle, İHA'ların sahip olduğu olumlu özellikler nedeniyle inşaat uygulamalarının tamamlanması noktasında dış mekânlarda zorlu görevlerin yerine getirilmesinde çok faydalı olacağı düşünülmektedir. Hibrit üretim süreçlerini analiz etmek için ise iki farklı uygulama örneği seçilmiştir. İki uygulama arasındaki temel fark, insan gücü ile robot kolların İHA'lar ile etkileşime sokulduklarında ortaya çıkan sonuçlarla ilintilidir. P7 örneğinde insan gücü ile tamamlanmış yapı kabuğu üzerinde yine insan kontrolünde kumandayla bir İHA'nın püskürtme yaptığı görülürken (Chaltiel ve diğerleri, 2020), P1 örneğinde zemine entegre edilmiş ve iki uca yerleştirilmiş robot kolların uygulama alanı içerisindeki kısıtlılıkları İHA'ların havadan desteği ile giderilmiştir (Solly ve diğerleri, 2017).

Disiplinler arası bir iş akışı çerçevesinde geometrik, yapısal, hesaplamalı ve malzeme odaklı deneysel yaklaşımlar, günümüz mimarlık uygulamaları için var olan ekonomik ve tasarımsal engellerin çözümüne yönelik yeni tipolojiler geliştirmenin küçük bir adımını temsil etmektedir. Böylelikle, mimarlar ve iç mimarlar için ilerleyen dönemde uygulamanın kısıtlarını aşabilecek daha özgürlükçü uygulamalar yapabilmeyen önündeki engellerin kalkacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, işçilerin şantiye süreçlerinde grev, iş yavaşlatma ya da iş bırakma gibi eylemlerinin ortaya çıkardıkları sonuçlara maruz kalmadan uygulama takvimine uygun üretimler de gerçekleştirilebilecektir. Hatta P1 örneğinde saptandığı gibi makinelerin çalışma hızlarında artış sağlandığı takdirde işçilerle yapılan üretime göre şantiye veya atölyedeki üretim süresinin de kısalması mümkün olacaktır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında konu deneysel mimarlık özelinde incelendiğinde, eleştirel bir bakışın varlığı ile üretim süreçlerindeki taleplere odaklanılması önem taşımaktadır. Wigglesworth'e göre (2005), eleştirel bir mimari, eleştirel davranmanın yollarını geliştirmelidir ve üretim koşullarıyla eleştirel bir şekilde ilgilenmeyi gerektirmektedir. Diğer bir deyişle, politik olmalıdır. Bu doğrultuda üretim süreçlerinde ortaya çıkan ikilemler, bir projeye ait uygulamanın gerçekleşmesinde ticari zorunluluklar (ve müşterilerin istekleri) ile deneysel mimarlık çıktısı arasındaki beklenti farklarıdır. Deney ile tasarım ve üretim yapmak stratejileri ticari kaygılardan uzaktır. Ancak, günümüz dünyasında mimarlık üretimlerinin kar odaklı yapıldığı da büyük bir gerçekliktir. Dolayısıyla, deneysel olan üretimlerin ortaya çıkış sebebinin bu kar odaklı yaklaşımlara karşı bir eleştiri olduğu düşünülmektedir (Wigglesworth, 2005). Ancak, deneysellik ile mimarlık birbirinden ayrı düşünülen süreçler olmamalıdır. Bu çalışma üzerinde incelemeleri gerçekleştirilen tüm örneklerin ilerleyen zaman diliminde klasik mimarlık üretimlerine dönüşebilme olasılıklarının yüksekliği, aslında deneyselliğin mimarlığın yapılış şekillerini çeşitlendirici bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

8. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışma için seçilen yedi durum çalışmasının analizinden sonra her birinin kullanılan benzer teknolojiye rağmen farklı güçlü ve zayıf yönleri bulunduğu sonucuna varılmıştır. Buna rağmen, teknolojik geliştirmelerle eşgüdümlü olarak ortaya koyması muhtemel fırsatlar ve oluşmuş tehditlerde benzerlikler ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Tablo 1.'de ortaya koyulan kısıtlar kaldırıldığı takdirde ilerleyen süreçte İHA'ların hareket serbestlikleri nedeniyle insan erişiminin zor olduğu yerlerde daha yüksek ve daha büyük binalar inşa etmek için kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla, İHA'ların mekân üretiminde farklı senaryo tipindeki uygulamalara yapı özellikleri ve konum fark etmeksizin konsept kanıtı ölçütünde yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Robot kollar ile İHA'ların oluşturduğu hibrit üretimin ise her iki teknolojinin de temel avantajlarını alan, zayıf yönleri azaltırken güçlü yanlarını kullanan, mekân üretimi için en olumlu yöntem olduğu anlaşılmaktadır.

İHA'lar sahip oldukları olanaklar ve edindikleri roller ile aşağıdaki hususları sağlayabilir:

- Hızlı ve çevik olmaları sebebiyle karmaşık mimari örüntüleri az hata veya tamamen hatasız olarak üretebilmek,
- Montaj esnekliği nedeniyle yeni yapı malzemelerini mimarlık üretiminde kullanılabilir hale getirmek,
- Üretimleri daha ekonomik ve hızlı bir şantiye programı içinde gerçekleştirebilmek,
- İşbirlikçi yöntemler ile çoklu üretim özelinde optimizasyonu yüksek çıktılar elde etmek,
- Mekân sınırlamasının olmaması sebebiyle iç ve dış mekânda proje üretiminde ayrıca gelecekte uzay kolonilerinin inşasında aktif görev alabilmek.

İHA'lar ile üretim, deneysel kavramını mimarlığın başına getirerek süreci ayrıksı hale getirmeden, mimarlık üretiminin daimî ve olağan bir parçası olarak düşünülmelidir. Böylece süreç boyunca araştırma ve deney ekseninde gerçekleşen üretimler bir arakesiti oluşturmaktan öteye kuram ile uygulama arasındaki mesafeyi yakınlaştırarak geçebilecektir. Böylelikle deneysel mimarlık üretimlerinin üniversiteler ve araştırma grupları tarafından geliştirilmeye devam edilmesiyle, İHA'lar gibi robotik üretim çerçevesinde deneysel mimarlığın tüm dünyada mevcut pratikler üzerindeki anlayışları değiştirecek bir etkiye sahip olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Agustí-Juan, I., Müller, F., Hack, N., Wangler, T. ve Habert, G. (2017). Potential benefits of digital fabrication for complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete wall. *Journal of Cleaner Production*, 154, 330–340. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.002
- Augugliaro, Federico, Mirjan, A., Gramazio, F., Kohler, M. ve D'Andrea, R. (2013). Building tensile structures with flying machines. *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* içinde (ss. 3487–3492). IEEE. doi:10.1109/IROS.2013.6696853
- Augugliaro, Frederico, Lupashin, S., Hamer, M., Male, C., Hehn, M., Mueller, M. W., ... D'Andrea, R. (2014). The Flight Assembled Architecture installation: Cooperative construction with flying machines. *IEEE Control Systems*, 34(4), 46–64. doi:10.1109/MCS.2014.2320359
- Braumann, J. ve Brell-Cokcan, S. (2012). Real-Time Robot Simulation and Control for Architectural Design. *Digital Physicality Proceedings of the 30th eCAADe Conference*, 2, 479–486.
- Can, N. ve Kahveci, M. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *Selcuk University Journal of Engineering ,Science and Technology*, 5(4), 511–535. doi:10.15317/Scitech.2017.109
- Chaltiel, S., Bravo, M., Veenendaal, D. ve Sayers, G. (2020). Drone Spraying on Light Formwork for Mud Shells. *Design Transactions* içinde (ss. 150–157). UCL Press. doi:10.2307/j.ctv13xprf6.30
- D'Andrea, R., Augugliaro, F., Corzillius, M., Flores, C., Hamer, M., Hehn, M., ... Thommen, I. (2011). Flying Machine Enabled Construction. *ETH Zurich*. http://www.idsc.ethz.ch/Research_DAndrea/fmec adresinden erişildi.
- Erol, K. (2020). Deneysel Mimaride Bilgisayar Destekli Tasarımın Etkilerinin Okuması: Venedik Mimarlık Bienali Örnekleri. *Tasarım Enformatiği*, 2(2), 65–74. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/te/issue/66501/869947> adresinden erişildi.
- Florio, W. ve Segall, M. L. (2009). Experimentation and Representation in Architecture: analyzing one's own design activity. *Undisciplined! Design Research Society Conference* içinde (ss. 16–19). Sheffield Hallam University. <http://shura.shu.ac.uk/493/> adresinden erişildi.
- Früh, N. (2022). ICD/ITKE Research Pavilion 2016-17. <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/icditke-research-pavilion-2014-15/> adresinden erişildi.
- Goessens, S., Mueller, C. ve Latteur, P. (2018). Feasibility study for drone-based masonry construction of real-scale structures. *Automation in Construction*, 94(June), 458–480. doi:10.1016/j.autcon.2018.06.015
- Gramazio, F. ve Kohler, G. (2008). *Digital Materiality in Architecture*. Prestel Pub. <https://books.google.com.tr/books?id=LIXWGAAACAAJ> adresinden erişildi.
- Hassija, V., Saxena, V. ve Chamola, V. (2020). Scheduling drone charging for multi-drone network based on consensus time-stamp and game theory. *Computer Communications*, 149(August 2019), 51–61. doi:10.1016/j.comcom.2019.09.021
- Helms, M. M. ve Nixon, J. (2010). Exploring SWOT analysis – where are we now? *Journal of Strategy and Management*, 3(3), 215–251. doi:10.1108/17554251011064837
- Hillier, B. (2007). *Space is the machine*. London: Space Syntax. doi:978-0-9556224-0-3
- Khosiawan, Y. ve Nielsen, I. (2016). A system of UAV application in indoor environment. *Production and Manufacturing Research*, 4(1), 2–22. doi:10.1080/21693277.2016.1195304
- Li, Y. ve Liu, C. (2019). Applications of multirotor drone technologies in construction management. *International Journal of Construction Management*, 19(5), 401–412. doi:10.1080/15623599.2018.1452101
- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I. ve Alsharif, M. H. (2022). Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones*, 6(6), 147. doi:10.3390/drones6060147
- Pereira da Silva, N. ve Eloy, S. (2021). Robotic Construction: Robotic Fabrication Experiments for the Building Construction Industry. *Advances in Science, Technology and Innovation* içinde (ss. 97–109). doi:10.1007/978-3-030-35533-3_14
- Sadler, S. (2005). *Archigram Architecture Without Architecture*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results> adresinden erişildi.
- Saçgöçak, A. M. D. (1999). *Mimarlığı Anlama ve Yorumlama Bağlamında Kavramsal Bir Model*. <https://tez.yok.gov.tr> adresinden erişildi.

- Schroth, L. ve Bödecker, H. (2021). *Drone Market Report 2021-2026*. Hamburg.
<https://droneii.com/product/drone-market-report> adresinden erişildi.
- Solly, J., Vasey, L., Knippers, J., Menges, A., Felbrich, B., Früh, N., ... Saffarian, S. (2017). Multi-Machine Fabrication. *ACADIA 2017: Disciplines & Disruption* içinde (ss. 248–259). Cambridge, Massachusetts: MIT. http://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia17_248.pdf adresinden erişildi.
- Weissenböck, R. (2015). Robotic Design-Fabrication - Exploring Robotic Fabrication as a Dynamic Design Process. *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe* içinde (C. 2, ss. 309–318). doi:10.52842/conf.ecaade.2015.2.309
- Wigglesworth, S. (2005). Critical practice. *The Journal of Architecture*, 10(3), 335–346.
doi:10.1080/13602360500162238
- Wood, D., Yablonina, M., Aflalo, M., Chen, J., Tahanzadeh, B. ve Menges, A. (2019). Cyber Physical Macro Material as a UAV [re]Configurable Architectural System. *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018* içinde (ss. 320–335). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-92294-2_25
- Xu, M., David, J. M. ve Kim, S. H. (2018). The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90–95. doi:10.5430/ijfr.v9n2p90
- Yıldız, S., Kıvrak, S. ve Arslan, G. (2021). Using drone technologies for construction project management: A narrative review. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 4(4), 229–244.
doi:10.31462/jcemi.2021.04229244
- Zhang, K., Chermprayong, P., Xiao, F., Tzoumanikas, D., Dams, B., Kay, S., ... Kovac, M. (2022). Aerial additive manufacturing with multiple autonomous robots. *Nature*, 609(7928), 709–717.
doi:10.1038/s41586-022-04988-4
- URL-1 (2022). <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/icditke-research-pavilion-2016-17/> (Son Erişim Tarihi: 07.12.2022)
- URL-2 (2022). <https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/e/projekte/209.html> (Son Erişim Tarihi: 09.12.2022)
- URL-3 (2022). <https://www.icd.uni-stuttgart.de/teaching/master-theses/cyber-physical-macro-material-as-a-uav-reconfigurable-architectural-system/> (Son Erişim Tarihi: 11.12.2022)
- URL-4 (2022). <https://www.bath.ac.uk/announcements/3d-printing-drones-work-like-bees-to-build-and-repair-structures-while-flying/> (Son Erişim Tarihi: 13.12.2022)
- URL-5 (2022). <https://idsc.ethz.ch/research-dandrea/research-projects/aerial-construction.html> (Son Erişim Tarihi: 14.12.2022)
- URL-6 (2022). <https://uclouvain.be/en/research-institutes/immc/gce/drone-based-construction.html> (Son Erişim Tarihi: 17.12.2022)
- URL-7 (2022). <https://www.muddarchitects.com/mudshell> (Son Erişim Tarihi: 18.12.2022)

Sürdürülebilir Mimarlıkta Pasif Evin Rolü

The Role of the Passive House in Sustainable Architecture

Farida MAMMADOVA, Solmaz AHMADOVA, Ruşen YAMAÇLI

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bina Bilgisi ABD, Eskişehir

Doi: 10.51764/smutgd.1229030

Geliş Tarihi : 04.01.2023

Kabul Tarihi : 26.03.2023

ÖZET

Pasif konut, enerji verimli konut sektöründeki gelişmelerden biridir. Pasif konutun arkasındaki teknoloji iyi kurulmuş ve dünya çapında önemli olumlu sonuçlarla son yirmi yılda test edilmiş olsa da, teknolojinin uygulanması durumunda dikkate alınması ve olası üstesinden gelinmesi gereken çeşitli zorluklar vardır. Binalarda insanlar için elverişsiz bir ortam gelişir: yapı malzemeleri, mobilya ve teçhizat ile birlikte insan vücuduna zararlı maddeler dairelere girer, havalandırma sistemleri binada hava temizliği sağlamaz, gürültü rejimi bozulur, binalarda ısı kayıpları yüksektir ve içlerindeki mikro iklim, konforlu yaşam ortamının gereksinimlerini karşılamaz. Çok katlı binalar, sakinlerine arazi ile gerekli bağlantıyı sağlayamıyor, aşırı büyük konut binalarının etrafında olumsuz mikro iklim ve psikolojik ortam oluşuyor, binaların mimari görünümü modern insanın estetik ihtiyaçlarını karşılamıyor. Mimarlar dünyanın tüm çevre sorunlarını çözemeler, ancak şu anda tüketilen enerjinin yalnızca bir kısmını gerektiren binalar tasarlayabilirler. Modern geliştiriciler, en son teknolojileri kullanarak çevre dostu evler inşa etmeye başladılar. Bu sektördeki en son başarılarından biri, pasif bir ev veya pasif-ev olmuştur. Bir pasif-ev, yalnızca doğal malzemeler kullanan, geleneksel ısıtma sistemleri olmayan ve elektrik tüketimi en aza indirilen bir evdir. Bu makale, enerji verimli (pasif) evlerin inşasının ana yönlerini, pasif-evlerin olumlu ve olumsuz yönlerini tartışmaktadır. Bu makale, çevre kirliliği ile ilişkili ve insan sağlığını etkileyen çevre sorunlarına olası bir çözüm önermektedir. Enerji tasarruflu evlerin inşasına yönelik bir süreç önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pasif ev; Enerji verimli ev; Pasif-ev.

ABSTRACT

Passive housing is one of the developments in the energy efficient housing sector. While the technology behind PH has been well established and tested worldwide over the past two decades with significant positive results, there are several challenges that need to be considered and possible overcome if the technology is to be implemented. An unfavorable environment for humans develops in buildings: together with building materials, furniture and equipment, substances harmful to the human body enter the apartments, ventilation systems do not provide air cleanliness in the building, the noise regime is disturbed, heat losses in buildings are high, and the microclimate in them does not meet the requirements of a comfortable living environment. Multi-storey buildings cannot provide their residents with the necessary connection with the land, an unfavorable microclimate and psychological environment is formed around excessively large residential buildings, the architectural appearance of the buildings does not meet the aesthetic needs of modern people. Architects cannot solve all the world's environmental problems, but they can design buildings that require only a fraction of the energy currently consumed. Modern developers have started to build eco-friendly houses using the latest technologies. One of the most recent achievements in this industry has been a passive house or passive house. A passiv-house is a house that uses only natural materials, does not have conventional heating systems, and the electricity consumption is minimized. This article discusses the main aspects of the construction of energy efficient (passive) houses, the positive and negative aspects of passive-houses. This article proposes a possible solution to environmental problems associated with environmental pollution and affecting human health. A process for the construction of energy-efficient houses is proposed.

Keywords: Participatory Planning, Housing Planning, Passive-house.

Farida MAMMADOVA, Orcid: 0000-0001-9583-403X, farida.mamedova.95@gmail.com

Solmaz AHMADOVA, Orcid: 0000-0002-6857-8111, solmaz.axmedova.95@gmail.com

Ruşen YAMAÇLI, Orcid: 0000-0001-9659-9246, yamaclir@gmail.com

1. GİRİŞ

Dünyadaki uygulamada, pratik mimari faaliyetlerde ve yeni fikirlerin tasarlanması aşamasında, sürdürülebilir kalkınma ve çevre güvenliğinin sağlanması ilkelerinin dikkate alınması konusunda büyük başarılar elde edilmiştir. Bugün, konutların çevre dostu olması konusu dikkate alınmaktadır. Çevre sorunları mimariyi her düzeyde etkilemektedir. Gelişmiş ülkelerde enerji tüketiminin yarısı binalarda, dörtte biri ulaşımda tüketilmektedir. Mimarlar çevre sorunlarını en aza endirmek için tüketilen enerjinin yalnızca bir kısmını kullanan binalar tasarlamaktadırlar. Modern geliştiriciler, en son teknolojileri kullanarak çevre dostu evler inşa etmeye başladılar. Bu sektördeki en son başarılarından biri, pasif bir ev veya pasif-ev haline geldi.

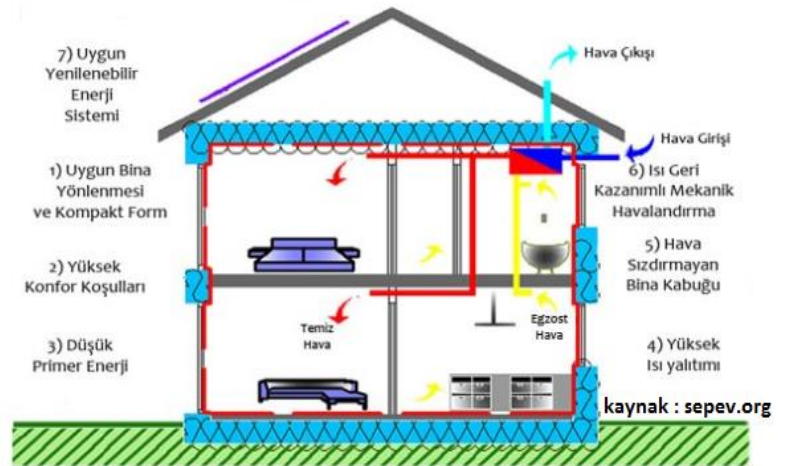
Pasif bir evin, enerji tasarruflu bir evin veya bir pasif-evin, temel özelliği ısıtma ihtiyacının olmaması veya düşük enerji tüketimi olan bir bina olmasıdır. Bu tür konutların enerji tüketimi, geleneksel müstakil evlerin maliyetinin yalnızca %10'u kadardır. Bir pasif-ev, yalnızca doğal malzemeler kullanan, geleneksel ısıtma sistemleri olmayan ve elektrik tüketimi en aza indirilen bir evdir. Bununla birlikte, bir pasif-evin ana dezavantajı tam da geleneksel ısıtma sistemlerinin yokluğunda yatmaktadır; sadece böyle bir eve yetecek kadar güneş enerjisinin olduğu bölgelerde inşa edilebilir. Bu makale, enerji verimli (pasif) evlerin inşasının ana yönlerini, pasif-evlerin olumlu ve olumsuz yönlerini tartışmaktadır. Enerji tasarruflu evlerin inşasının dikkate alınması önerilmektedir.

2. PASİF EVLERİN TARİHİ

"Pasif ev" terimi yaklaşık 25 yıl önce Almanya'da ortaya çıktı. Mayıs 1988'de Profesör Bo Adams (İsveç) ve Wolfgang Feist (Almanya) (Şekil 1; 2.), ısıtma ve sıcak su için minimum enerji tüketmesi gereken bir konut binası konseptini geliştirdi. Bu, ısıtma cihazlarının kullanımını reddetmeyi mümkün kıldı (Golikova & Nagaeva, 2019, s. 15-20). Hesaplamalara göre, ısınma için yeterli güneş ısı ve sakinlerin ürettiği ısı vardı.



Şekil 1. İlk pasif ev (Almanya).



Şekil 2. Darmstadt'taki (Almanya) ilk pasif evin kesiti: büyük ısı yalıtımı, özel süper sıcak pencereler ve verimli ısı geri kazanımlı bir havalandırma sistemi (URL-1, 2022).

Ön hesaplamalara dayanarak, aşağıdakileri dikkate alan bir ev projesi geliştirildi: mimari enerji tasarruflu çözümler; havalandırma sisteminde bir ısı eşanjörü sağlanır - binadan çıkan sıcak havanın eve giren soğuk havayı ısıttığı bir ısı eşanjörü; hava kalitesi kontrollü bir havalandırma kontrol sistemi geliştirilmiştir; yeni enerji tasarruflu pencere çerçeveleri geliştirildi; özel enerji tasarruflu yapısal birimler geliştirilmiştir; güneş ısının kullanımı dikkate alınır; atık sudan ısının geri kazanılması (yani kullanılması) için bir sistem geliştirilmiştir.

Pasif bir ev, her şeyden önce enerji tasarruflu bir evdir. Pasif-evler, geleceğin evinin idealize edilmiş bir temsili değil, inşaatı her geçen yıl daha popüler hale gelen oldukça gerçek evlerdir. İlk pasif ev 1972'de ABD'de, New Hampshire'da, Manchester'da, enerji krizinin arifesinde inşa edildi (Abitov & Ataev, 2016, s.23-25) (Şekil 3).



Şekil 3. ABD'de, New Hampshire'da, Manchester'da, ilk pasif-ev (URL-2, 2022).

Mimarlar Nicholas Isaak ve Andrew C. Isaak, iki katlı bir yeraltı otoparkına sahip, toplam 16.350 m² alana sahip 6 katlı bir bina oluşturmakla görevlendirildi. Evin projesi bir küptü, bu form mimari çözümün kısılalığı nedeniyle ısı kaybını en aza indirdi. Cam, duvar yüzeyinin sadece %10'unu oluşturuyordu ve çatıya güneş kolektörleri yerleştirildi. Dış duvarlar iki katmanlı bir yapıya sahipti ve pencerelerde güneşlik vardı. Binanın mimarisi, iç mekanın açık yerleşimi sayesinde doğal ışığın maksimum kullanımına izin verdi. Soğutulmuş ve ısıtılmış suyu depolamak ve geri kazanımlı havalandırma için tanklar düşünülmüştür. İkinci enerji tasarruflu bina "EKONO evi" Finlandiya'nın Otaniemi kentinde inşa edildi (1973-1979) (Şekil 4). EKONO şirketi, 1950'den beri enerjinin korunması ve optimum kullanımı alanında araştırma yapmaktadır. Şirketin uzmanlarının biriktirdiği deneyim, EKONO-house adlı yenilikçi bir bina projesinde uygulanmıştır (Soloviev, 2016, s. 46-53).



Şekil 4. "EKONO evi" (URL-3, 2022).

Projenin özelliği, binanın 2 bölümden oluşmasıydı. Dıştan aynıydılar, ancak ilk bölüm o zamanki bina kodlarına göre inşa edilmişti ve yenilikçi enerji tasarruf çözümlerini içermiyordu. Binanın ikinci bölümde bu tür çözümler kullanılmıştır. Bunlar, amacı her iki bölümün enerji tüketimini incelemek ve karşılaştırmak olan araştırma laboratuvarlarıydı. "EKONO-house" binasının ana yenilikçi enerji tasarrufu çözümleri şunlardı: çevreleyen yapıların alanını en aza indirmek ve içlerinden ısı kayıplarını azaltmak için iç hacmin verimli kullanımı; ısı kaybını azaltmak için kapalı yapıların etkili ısı yalıtımı; ısıyı biriktirmek ve binanın termal stabilitesini iyileştirmek için kapalı yapıların yüksek ısı kapasitesi; ısıtma sistemi üzerindeki yükü azaltmak için yapının tabanında güneş radyasyonu ısısının birikmesi; yazın ısı kazancını azaltmak ve kışın ısı kaybını azaltmak için havalandırılmalı pencerelerin kullanılması; binanın ısıtılmasına yönelik enerji maliyetlerini azaltmak için havalandırma sisteminde minimum hava kaçağı (bina sızdırmazlığı) ve düşük dış hava tüketimi; elektrik enerjisi maliyetini azaltmak için verimli aydınlatma; enerji tüketimini optimize etmek ve hesaba katmak için klima ve aydınlatma ekipmanı için otomatik kontrol sistemi (Soloviev, 2016, s. 46-53).

3. PASİF EV PROJESİNİN YARATMANIN TEMEL YÖNLERİ

Pasif-evler tasarlanırken takip edilmesi gereken birkaç temel husus vardır: (Matyeva, Shadykhanov, 2017)

1. Tasarlanan binanın şekli:

Bu tür evler için projeler oluştururken uzmanlar, minimum dış alana sahip geniş bir oda yaratacak en uygun şekillerini belirler. Bu hareket, dış yüzeyden ısı kaybını azaltabilir. Pasif-evler, forma (tasarım) göre aşağıdaki türlere ayrılabilir: (Basok, vd., 2015, s.32-43)

- Kubbe pasif-ev- evin tasarımı kubbe şeklindedir. Malzeme ahşap veya tuğla olabilir. Çatı yeşil çatı, odun veya kiremit ile kaplıdır.
- Düz çatılı pasif-ev- yapı, çatı yüzeyinde hasır paneller ve canlı bitkiler kullanılarak ahşaptan oluşur.

- Klasik bir ev, ahşap ve tuğladan yapılmış bir kütük evden inşa edilmiş bir tür pasif-evdir.
- Yuvarlak ev- yuvarlak bir şekle sahiptir. İnşaat yapılırken kil, ahşap, tuğla veya saman kullanılır. Yuvarlak bir evin çatısı metal kiremitlerden yapılabilir.

2. Ekolojik evin güçlü yalıtımı (çatı ve duvarlar için ısı direnç katsayısı en az R40 ve R60 olmalıdır), duvar ve çatı bağlantılarının, temellerin vs. dikkatli bir şekilde sızdırmaz hale getirilmesi, pencerelerin etrafındaki açıklıkların ve kapılar, havalandırma sistemlerinin montajı, ısı geri kazanım ekipmanı ile donatılmış olması önemli özelliklerinden biridir. Örneğin, birçok mimar, enerji tasarruflu bir ev için çatıların mümkün olduğunca basit yapılmasını önerir. Genellikle üçgen bir versiyonda dururlar ve ne kadar düz olursa ev o kadar ekonomik olur. Kar, eğimli çatıda oyalanacak ve bu, kışın ek yalıttır.

3. Düzen. Bir pasif-evde, kapılar ve pencereler binanın kuzey cephesine bakmamalı, giriş holünün varlığı zorunludur (bu, kışın ısı kaybını azaltacaktır). Mümkünse yaşam alanları doğu cepheye, tampon odalar (depolar, kilerler, garajlar vb.) kuzey cepheye bakmalıdır.

Pasif ev fikrinin bir başka geliştirme biçimi, altyapıdan, elektrik ve gaz şebekeleri, belediye su temini sistemleri, atık su arıtma sistemleri, rögarlar, iletişim hizmetleri ve bazı durumlarda kamuya açık yollardan bağımsız olarak inşa edilen özerk binalardır. Otonom binaların çevresel etkisi minimumdur, daha güvenlidir (doğal veya askeri eylemler sırasında) ve daha az bakım maliyeti gerektirir. Bugün, binanın tam özerkliği yalnızca kavramlarda gerçekleştirilmektedir (Sovetnikov, 2014, s. 11-25). Bunun nedeni, bu tür projeleri uygulamak için teknolojilerin erişilemezliği ve karmaşıklığıdır. Modern bir metropol koşullarında çevreden tam bir özerklik durumuna ulaşma olasılığı sorusu, böyle bir evin sakinlerinin de alışılmış yollarını ve yaşam tarzlarını değiştirmeleri ve esas olarak elektrik tasarrufuna odaklanmaları gerekeceğinden, açık kalmaktadır.

Pasif bir evde, binanın dış konturu maksimum düzeyde yalıtılır, etkili ısı yalıtımlı pencereler kurulur ve bir besleme ve egzoz havalandırma sistemi vardır (Malkov, 2012, s. 6-8). Ek olarak, ev mümkün olduğu kadar yalıtılmış olduğundan, havalandırma sistemi geri kazanımı, yani ısı geri kazanımı ilkesini kullanır: binaya giren hava, dışarıdan çıkan "zaten kullanılmış" hava ile ısı alışverişi nedeniyle önceden ısıtılır. Böylece ısı kayıpları azaltılır ve sokaktan gelen soğuk besleme havasını ısıtmak için gereken enerjinin yaklaşık %80-90'ı tasarruf edilir. Tabii ki, bu tür binaların inşası için mimari ve planlama çözümleri, ana noktalara yönlendirme ve kompaktlık ile ilgili öneriler var. Enerji tasarrufu açısından en verimli olanlar yüksek binalardır, alçak binaların da belirli bir kaynağı vardır: enerji tasarrufu, evin en uygun dış yüzeyini oluşturarak elde edilir (Salmina & Bystrova, 2016, s. 28-39). Sonuç olarak, bu tür binalarda bazı iklim bölgelerinde güneş enerjisi nedeniyle pencerelerden ısı kazancı daha fazladır.

Tamamen mimari ifade araçları dışında, farklı gelişim düzeylerinde sürdürülebilir mimarlığın özelliklerini tek bir sistemde özetleyerek, malzemeyi teknik özelliklerin sayısındaki artışı açıkça gösteren bir tablo şeklinde sunulmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Özelliklerin farklı bina türlerine göre dağılımı.

Bina tipleri/ Özellikleri	Pasif ev	Akıllı ev
Düşük enerji tüketimi (çoğu modern bina tarafından tüketilen birim hacim başına özgül enerjinin yaklaşık %10'u)	+	+
Enerji verimliliği (bir dizi spesifik gösterge ile ölçülür. Bu sabit bir değer değildir, bölgeye göre değişir)	+	+
Binanın olası minimum ısı kaybı, yüksek kaliteli ısı yalıtımı sayesinde çevre ile minimum ısı alışverişi	+	+
Isı geri kazanımlı2 ve klima sistemli otomatik havalandırma sistemi	+	+
Güneş radyasyonu, toprak enerjisi, ısı, su maksimum kullanımı	+	+
eko-malzemeler	+	+
İnşaat teknolojisine sıkı sıkıya uyulması	+	+
Altyapıdan, kamu hizmetlerinden, elektrik ve gaz şebekelerinden, belediye su sistemlerinden, atık su arıtma sistemlerinden, yağmur suyundan, iletişim hizmetlerinden ve hatta bazı durumlarda halka açık yollardan bağımsızlık		
Pozitif enerji dengesi, fazla enerji merkezi şebekeye aktarılabilir		

Sürdürülebilir kalkınma kavramı çok boyutlu bir programdır ve mimarlık ve inşaat alanında sürdürülebilirliğin, sosyal politika ve nüfusun çıkarlarını dikkate alan bir sisteme dönüşmesi doğaldır. Bu tür mimari çözümler, ülkelerin sürdürülebilir kalkınmasına yani, tüm vatandaşların çıkar dengesini uyumlu hale getirme ve sürdürme temelinde sosyal adalet ilkelerini ve toplumda yüksek yaşam kalitesini sağlamasına, ailesinin refahı için toplumun her bir üyesinin kişisel sorumluluğunun güçlendirilmesine, orta sınıfın gelişimi, nüfusun güçlü kesimlerinin faaliyetinin artırılması ve aynı anda sosyal olarak savunmasız grupların hedefli korunması vb gibi mimari çözümlere yardımcı olmaktadır.

4. ÖRNEK PASİF EVLERİN ANALİZİ

Şu anda Avrupa'da yaklaşık on bin pasif ev inşa edildi. Sadece kentin çevresindeki konaklarının değil, kentsel yüksek binaların da bu teknoloji kullanılarak inşa edilmesi dikkat çekiyor. Pasif binaların en iyi bilinen örneklerinden bazıları, 2000 yılında Almanya'nın Ulm kentinde inşa edilen malikaneler ve Wuppertal'daki pasif ev dönüştürme deneyidir. Avrupa ülkelerinin her biri, pasif teknoloji kullanarak evlerin inşasını uygulamaktadır. Örneğin Danimarka, Finlandiya ve Çek Cumhuriyeti'nde pasif evlerden oluşan tüm eko-köyler ortaya çıkıyor. Bazı durumlarda, mimarlar parlak renk şemaları kullanır (drv, vd., 2020, s.109-114).

Küresel ölçekte en ünlü projeler, Jacques Fresco tarafından yaratılan kar amacı gütmeyen uluslararası sivil toplum kuruluşunun geliştirmeleridir (The Venus Project)(Şekil 5) (URL-4, 2022). Venüs Projesi, merkezi ABD'de Venüs'te bulunan, bu konulara adanmış, 40 yılı aşkın süredir kar amacı gütmeyen, uluslararası bir sivil toplum kuruluşudur. Fresco tarafından sunulan proje, çok sayıda insanın su alanına yeniden yerleştirilmesi için çeşitli seçenekler sunmaktadır (hem su yüzeyinde hem de rezervuarların dibinde bulunan şehirlerin çeşitleri önerilmiştir) (Drap, vd., 2008, s. 419-427).



Şekil 5. Venüs Projesi (URL-4, 2022).

Yaratıcılara göre ölçekleriyle dikkat çeken bu tür kompakt biçim ve kompozisyon-bütünsel "yüzen şehirler", kompleksin tüm bileşenlerinin çalışmasını sağlamak için okyanus kaynaklarını, rüzgar, dalga ve güneş enerjisini kullanacak. Fresco'nun planına göre deniz yerleşimleri, internete bağlı bilgisayar sistemleri kullanılarak uzaydan kontrol edilecektir. Burada, Cephenin camlı kısmı doğal ışığın içeri girmesini sağlar. Buna karşılık, yeşilliklerin binanın içinde büyümesini sağlar. Rüzgar kırıcılar, cam üzerindeki yükü azaltarak projenin tanınabilir işaretleri haline gelir.

Rusya'daki özerk bir evin en ünlü örneklerinden biridir. Rusya Mimarlar Birliği (UAR) yönetim kurulu üyesi, başkan yardımcısı A. Remizov'un özerk yaşam destek sistemine sahip biyoiklimsel bir binanın iddialı projesidir (Şekil 6) (URL-5, 2022). Proje, 2011 yılında, Radical Innovation in akHospitality yarışmasında birincilik ödülünü ve ardından Green Planet Architects Ödülü'nü kazanmıştır. (Akca, 2011).



Şekil 6. Rusya pasif ev (URL-5, 2022).

Biyomorfizm, mimarların canlıların yapılarına benzer bir yapı yaratma konusundaki tutumu olarak açıkça mevcuttur. Teknolojik, estetik, sanatsal, ekolojik ilkelerin sentezine ulaşmak, (diğer şeylerin yanı sıra) yaratıcıların program ayarlarını açıkça yansıtan görsel bir işaret haline gelen oldukça özgün bir mimari formun ortaya çıkmasına yol açar (Akça, 2011, s. 82-91). Özerk evlerin gerçek inşaatı, konum ve iklim özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilir. Pili alternatif elektrik kaynakları, kendi kanalizasyonu, ısı temini, besleme havalandırmasının düzenlenmesi ve özerk bir evin diğer birçok tasarım özelliği, bir dereceye kadar standart dışı tasarım ve sürekli deneyler, bakım ve ek maliyetler gerektirir.

Bahreyn'deki, üzerinde rüzgar türbinlerinin kurulu olduğu ilk büyük bina olan Uluslararası Ticaret Merkezi (Şekil 7) (URL-6, 2022). 2008 yılında inşaatın tamamlanması sırasında 50 katlı iki gökdelenin arasına üç türbin yerleştirildi. Kompleks, rüzgarın sürekli estiği, yüksek binalar arasında artan deniz kıyısında yer almaktadır. Bu, 30 metrelik türbinlerin, binanın ihtiyaçlarının onda birini karşılayan yılda yaklaşık bir kilowatt-saat elektrik üretmesini sağlar (Molodzinskiy, 2020, s. 13).



Şekil 7. Uluslararası Ticaret Merkezi, Bahreyn (URL-6, 2022).

Mimari çözümdeki "tezahürleri" sayesinde binanın orijinal dinamik unsuru haline gelirler. Türbinler, fanlar, güneş panelleri gibi yapısal elemanların artık sadece teknik bir gereklilik olmaktan çıkıp estetik anlamda da ifade güçlerini kazandığı belirtilmelidir. Bu tür nesnelere, projenin kompozisyon bütünlüğünde yerini alır, işlevini yerine getirir ve mimari ortamın görsel bağlamını dengeleyerek insan gözü için daha çekici ve algı için daha uyumlu hale getirir.

Bir örnek, Çin'in Shandong Eyaleti, Dezhou'da 2009 yılında inşa edilen idari binanın cephesinde ve çatısında güneş panellerinin kullanıldığı en büyük binalardan biridir (Şekil 8) (URL-7, 2022). Dıştan, cephe, güneş saatinin şekli yaratıcılar için bir prototip görevi gördüğünden, farklı ışınlarla güneşe benziyor. Cepheyi kaplayan güneş panelleri, ulusal standardın önerdiğinden %30 daha fazla enerji tasarrufu sağlıyor. Belirlediğimiz sürdürülebilir mimarinin gelişim seviyeleri, mühendislik ve teknolojik parametreler açısından vurgulanmıştır (Terentiev & Zolotozubov, 2020, s. 52-56). Bununla birlikte, doğal peyzajların ve doğanın gelişiminin arka planına karşı mimari projelerde bilimsel başarıların kullanılması, yeni mimarinin estetik ve sanatsal değerlerini de oluşturmaktadır.

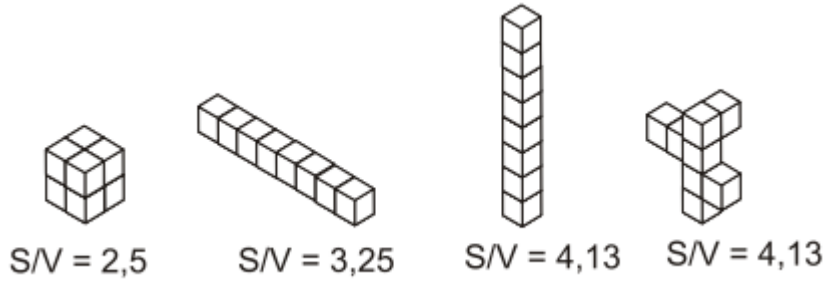


Şekil 8. Çin'in Shandong Eyaleti, Dezhou (URL-7, 2022).

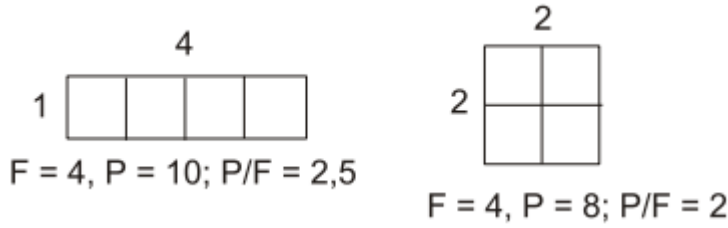
5. ENERJİ TASARRUFLU VE PASİF EVLERİN TASARIMI YÖNÜNDE ÖNERİLERİN OLUŞTURULMASI

Enerji tasarruflu bir ev tasarlamamanın temel ilkeleri, ısı tasarrufu için tüm olasılıkları kullanmak ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Zorlu iklim koşullarına sahip inşaat ortamlarında anahtar kavram, bölgelere ayrılmış çevre yönetimidir. Bu, konutun oryantasyonunda, mekansal kabuğunun ve camın yapımında, iç iklim

ve enerji tüketiminin yönetiminde ifade edilir. Amerikalı mimar Ralph Knowles (Ralph Knowles), "bina kabuğunun alanının binanın hacmine oranının ("maruz kalma oranı" S / V olarak adlandırılan) binanın enerji verimliliğini etkilediğini bina kabuğunun alanının hacme oranı ne kadar küçükse, bina iklim etkilerine o kadar az maruz kalır (Şekil 9, 10).



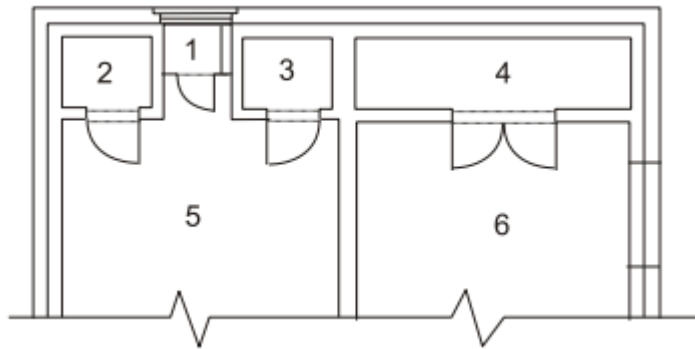
Şekil 9. Karşılaştırmalı S/V oranları.



Şekil 10. Binanın çevresinin alanına göre karşılaştırmalı oranları.

Bilindiği gibi, bir bütün olarak bir binanın mekansal yerleşimi, aşağı yukarı eşit hacimlere sahip boşluklardan oluştuğunda, bina hacminin merkezine yaklaştıkça odalar arasındaki sıcaklık değişiminin azaldığı bilinmektedir. Dış duvarların yakınında bulunan odalar ile çevreleyen yapılarla temas halinde olmayan iç mekanlar arasında bir sıcaklık gradyanı yaratılır. Açıkçası, işlevsel alanların farklılaştığı yarı açık bir düzen, minimum sıcaklık düşüşleri genliği ile karakterize edilir.

Giderek artan sayıda yeni konut projesinde hava perdeleri ve ikili girişler kullanılmaktadır. Çift giriş, sızma ve ısı iletimi yoluyla ısı kaybını azaltır. Her iki yanında kapıları olan küçük bir giriş alanından oluşan giriş düğümü, Şekil'de (Şekil 11) gösterildiği gibi, soğuk dış alan ile sıcak iç alan arasında bir geçiş bölgesi işlevi görür.



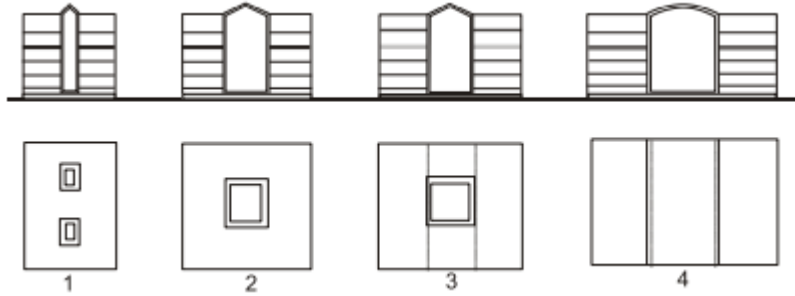
Şekil 11. Kuzey konutları için "Kalın" duvarlar: 1- giriş holü; 2- tuvalet; 3- gardırop; 4- kiler; 5- salon; 6- oturma odası.

Güneş radyasyonundan maksimum ısı elde etme olasılığı da önemlidir. Bunun için güney tarafında en büyük cephenin tasarlanması ve camlı açıklıkların uygun şekilde düzenlenmesi gibi araçlar kullanılır. Tabii ki, hem enerji tasarruflu bir evde hem de pasif bir evde, bunların en büyüğü güney tarafına yerleştirilmelidir, ancak ikinci durumda, güney tarafının tamamen cam olması tavsiye ediliyor. Aynı zamanda kuzey tarafındaki camlı açıklıkların sayısını sınırlamak ve hatta tamamen "kapatmak" gerekiyor. Her iki ev tipinde de, binaların optimal düzeni aynıdır. Güney tarafında oturma odası ve yemek odası olmalıdır. Ancak gardırop, garaj ve malzeme odası, bir tampon bölge oluşturacak şekilde kuzey tarafına yerleştirilmiştir.

Sert bir iklimde yüksek yaşam konforu sağlayan bir kuzey konutunun tasarımı, bir konut binasının yeni yapısal unsurlarının geliştirilmesiyle ilişkilidir: girişler, korumalı iletişimler, camlı sundurmalar, soğuk depolar vb. Bu unsurlar arasında en ilginç ve kavramsal iç mekanlar, yarı saydam çatı ile kaplı avlulardır. Pek çok ülkedeki tarihi yapı deneyiminden, avlulu bir evin en eski yapı biçimlerinden biri olduğu görülebilir. Bununla birlikte, ayrı

mekansal unsurların merkezi bir büyük bütünleşik alan tarafından birleştiği tipik konut binaları örnekleri sağlayan, son on yılların inşaat pratiği ve özellikle aşırı alanlarda tasarım ve inşa etme deneyimidir.

Gerçekleştirilen işlemlere ve karşılık gelen boyuta bağlı olarak, bu tür alanlar iki grupta birleştirilebilir: ışık ve havalandırma bacaları ve atriumlar. İkincisi, sırayla, hafif avlulara, avlulara ve kapalı avlulara bölünmüştür (Şekil 12). Evin orta kısmının aydınlatma ve havalandırma işlevlerini yerine getiren ışık ve havalandırma bacaları, mühendislik kanalları sisteminin (esas olarak havalandırma) işlevsel içeriğinin geliştirilmesi ve genişletilmesinde bir sonraki adım olarak kabul edilebilir. Bu nedenle, tesislerin gerekli aydınlatma seviyesini sağlamak için gerekliliklere göre belirlenen mümkün olan minimum boyutlara sahip olabilirler. Bu gereksinimlerin karşılanması, planda $6.0 \div 9.0 \times 6.0 \div 9.0$ m şaft boyutları ve maksimum beş kat yüksekliği ile sağlanır. Aynı zamanda, ışık akısının şaftın alt bölgesine etkili akışı için koşulların sağlanması gereklidir, bu da şaftın çıkıntılar olmadan düz duvarlarının oluşturulması ve ayrıca hacme yeşillik yerleştirilmesi anlamına gelir. Ayna veya beyaz fayans, plastik, badana vb. tavsiye edilebilir. Yarı saydam bir şaft kaplamasının tasarımı seçilirken, daha az bağlayıcı ve daha iyi aerodinamik özelliklere sahip, kar birikimini azaltan, daha fazla ışık gücüne sahip kaplamalar tercih edilmelidir.

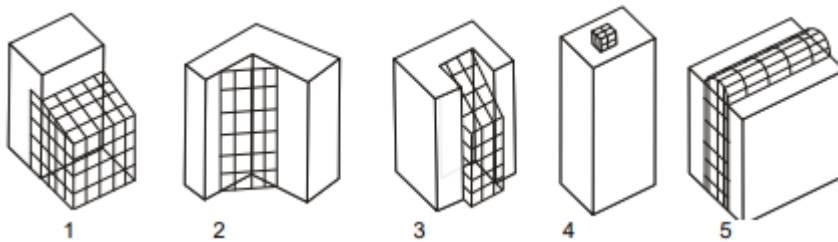


Şekil 12. Işık ve havalandırma bacalarının ve atriumların işlevsel amaçlarına ve boyutlarına göre sınıflandırılması: 1- ışık ve havalandırma bacaları: $6.0 \div 9.0 \times 6.0 \div 9.0$ m, maksimum 5 kat yüksekliğinde; 2- hafif avlu: $6.0 \div 12.0 \times 6.0 \div 12.0$ m yükseklikte beş kat ve altı; 3- teras: $9.0 \div 20.0 \times 9.0 \div 20.0$ m; 4- kapalı alan: minimum genişlik 20,0 m.

Işık avluları, ışık ve havalandırma bacalarından daha geniş bir işlev yelpazesi gerçekleştirir. Bir avlu etrafına entegre edilmiş bir apartman grubunun sakinleri tarafından eğlence amaçlı kullanım amaçlıdır. Bu bakımdan avlunun boyutu madeninkinden biraz daha büyük olabilir ve beş kat ve altı yüksekliği ile 12.0×12.0 m'ye ulaşabilir. Avluya özel ekipman kurulur, çevre düzenlemesi mümkündür. Sakinlerin küçük balkonları, pencere açıklıklarının minimum düzeyde gölgelenmesini sağlamaları koşuluyla iç alana çıkabilir. İç duvarlar yansıtıcı malzeme ile kaplanmıştır.

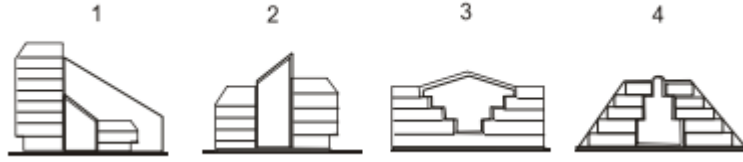
Kapalı avlular, çevreden yarı saydam bir kabukla ayrılmış, birbirine yakın yerleşim binaları arasındaki bir alandır. Kapalı avlularda, iklim tamponu işlevleri ve alanın çok işlevli kullanımı en başarılı şekilde uygulanmaktadır. Yumuşatılmış bir mikro iklime sahip bir tampon alanın yaratılması, kamusal yaşamın belirli işlevlerinin sokaktan avluya "aktarılmasını" gerektirir. Bu, bahçe için özel ekipman, iyileştirme seviyesinde bir artış gerektirir ve konut binalarının birinci katlarının çözümüne doğrudan yansır. Bu durumda pencerelerin avluya yönlendirilmesi tercih edilir. Yarda boyutları değişebilir. Ana sınırlama, pencereden pencereye görüşü önlemek için böyle bir avlunun minimum genişliğinin en az 20 m olması gerektiğidir.

İşlevsel görevlerin çözümü ve iç mikro iklimin iyileştirilmesi ile ilgili görevler, doğrudan atriyum alanlarının (hafif avlular, avlular ve kapalı avlular) şeklini ve boyutunu, bir bina veya konut kompleksi yapısındaki konumlarını etkiler. Atrium boşluklarının doğal çevre ile ilişkisinin doğasına ve bunların şartlandığı biçimlere göre, atriumlar bir, iki, üç, dört duvarlı ve geçitli- lineer atriumlar olarak sınıflandırılır (Şekil 13).



Şekil 13. Çevre ile bağlantılı olarak atriyumların sınıflandırılması: 1- tek duvarlı; 2- çift cidarlı; 3- üç duvarlı; 4- dört duvarlı; 5- geçişli doğrusal atriyum.

Atrium boşlukları, kesit tipine göre dikey duvarlı atriumlar ve teraslı atriumlar olarak ikiye ayrılmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Bölümün şekline göre atriyum türleri: 1, 2- dikey duvarlı atriumlar; 3, 4- teraslı atriumlar.

Atriyum alanlarında ışığın yayılmasının ve konut binalarının bunlar aracılığıyla aydınlatılmasının özellikleri dikkate alındığında, atriyumun maksimum yüksekliğini beş katla sınırlamak mantıklı görünmektedir. Güney tarafındaki geniş camlı alanların güneş ışınlarından ısı almanıza izin verdiği, ancak yaz aylarında evin aşırı ısınmasına neden olabileceği unutulmamalıdır. Tasarım, bina taslağının ötesine uzanan kanopiler gibi gölgeleme elemanları içeriyorsa bu gerçekleşmeyecektir. Güneş (yaz aylarında) ufkun üzerindeyken ışınların nüfuz etmesini önlemelidirler. Ancak ufukta alçaktan hareket eden kış güneşinin ışınlarına engel olmamalıdır. Diğer bir çözüm ise yaz aylarında panjur veya tente gibi hareketli perdelerin kullanılmasıdır. Evin yakınındaki bölgenin makul kullanımı- bölgenin doğal tasarımı ve dikimlerin yeri- iyi bir etki sağlar. Güney tarafına dikilen yaprak döken ağaçlar yazın cam açıklıkları gölgeleyecek ve kışın yapraklar düştüğünde güneş ışınlarından ısı almalarını sağlayacaktır. Kuzey tarafında, evi yıl boyunca rüzgardan koruyacak bitkiler dikmek daha iyidir. İğne yapraklılar ve sarmaşık bu görevle iyi başa çıkıyor.

6. ILIMAN İKLİME SAHİP OLAN KENTLER İÇİN PASİF EV

Önceleri Orta ve Kuzey Avrupa'nın mevsimsel şartlarına göre uyarlanan pasif ev standartları, daha sonra ılıman iklime sahip lokasyonlara uyarlanmış ve enerji talebinin çok düşük seviyelere düştüğü gözlemlenmiştir.

Bir binanın Pasif Ev olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki kriterleri karşılamasını gerektirir (Passivhaus Institut, Passivhaus, 2015):

- Alan Isıtma Enerjisi Talebi, 15 kWh/m²-yılı veya 10 W/m²'yi aşmamalıdır.
- Passive House Classic sertifikası için Birincil Yenilenebilir Enerji Talebi 60 kWh/m²yılı aşmamalıdır.
- Hava sızdırmazlığı, 50 Paskal basınçta (ACH50) saatte maksimum 0,6 hava değişimi sağlayan bir yerinde basınç testi ile doğrulanmalıdır.
- Yazın olduğu kadar kışın da tüm yaşam alanları için termal konfor sağlanmalı, belirli bir yılda saatlerin %10'undan fazlası 25 °C'nin üzerinde olmamalıdır.

İliman iklime sahip olan kentler için araştırmacılar ve uzmanlar tarafından birçok çözüm önerilmiştir ve özellikle yaz aylarında enerji verimli binalarda (pasif evler) enerji tasarrufu sağlamak için kullanılmaktadır. Bunun sonucunda ılıman bölgelerde pasif ev inşaatında yapının yönelimi, yapı kabuğu ve yapı kabuğun renklendirilmesi, pencereler ve gölgeleme, havalandırma ve termal köprülerin olmaması dikate alınması gerektiren unsurlardır.

1. Yapının yönelimi. Wong ve Fan (2013, s. 138-157) tarafından yapılan bir araştırma, bir binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma için güneş ışınımını kullanma yeteneğinin, binanın yönelimi ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmektedir. Binanın doğru yönlendirilmesi, uygun güneş katkısını elde etmek için çok önemlidir.
2. Yapı kabuğu ve yapı kabuğun renklendirilmesi. LaFrance (2013, s. 20-21), bina kabuğu tasarımının bir binanın enerji kaybı ve enerji kazancının %20-60'ını etkileyebileceğini belirtmektedir. Bina kabuğunun, sıcaklık kontrolü, hava, nem ve ses giriş ve çıkışlarını düzenleyerek bir bina ile çevresi arasındaki etkileşimi belirlediği ve yüksek performanslı, sürdürülebilir binalar için kritik öneme sahip olduğu sonucuna varmaktadır.

Soğutma yüklerinin daha önemli olduğu sıcak iklim bölgelerinde, bina dış cephelerinde soğuk renklerin kullanılma olasılığı Zinzi (2016, s. 206-213) tarafından araştırılmıştır. Akdeniz iklimine sahip İtalya'da ev dışında soğuk renklerin kullanılması soğutma enerjisi tüketimini %10-20, maksimum sıcaklıkları ise 0,5-1,6 °C oranında düşürür. Ek olarak, soğuk renklerin kullanılması, en yüksek güneş radyasyonu sırasında dış yüzey sıcaklıklarını 6°C'den fazla azaltır.

3. Pencereler ve gölgeleme. Sıcak iklimlerde, düşük güneş geçirgenliğine ve ısı iletkenliğine sahip camlarla birlikte düşük ısı iletkenliğine sahip verimli pencere çerçeveleri düşünülmelidir. Pencere çerçeveleri iyi yalıtılmalı ve ısı transferini önlemek için argon veya kripton ile doldurulmuş Low-E camla donatılmalıdır. Yakındaki gölgeleme nesnelere (binalar, ağaçlar vb.), pencerelerin yanal açıklıkları, çıkıntılar ve geçici gölgeleme (jaluziler, tenteler vb.), kış ve yaz gölgeleme hesaplamaları için dikkate alınır. Stor perde veya

tente gibi geçici dış gölgeleme kullanılmalıdır. Bunlar ihtiyaca göre manuel veya otomatik olarak kontrol edilebilir. Dış gölgeleme, iç gölgelemeden daha etkilidir, çünkü ikinci durumda güneş radyasyonu binanın içine çoktan girmiştir (Mlakar & Stancar, 2011, s. 1443-1451).

4. Havalandırma. Manzano-Agugliaro vd. (2015, s. 736-755), sıcak ve nemli iklim bölgesinde yaptıkları bir çalışmada, havalandırma stratejisi olmadan o bölgede sadece pencere ve kapıların açılmasıyla iç mekan sıcaklık artışlarının oluşabileceğini belirtmişlerdir. Bunu önlemek için çapraz kuzey-güney havalandırma, hakim rüzgarlar, baca etkileri, kış bahçeleri, yer altı havalandırma, rüzgar kuleleri, buharlaştırma kuleleri ve bahçelerdeki dikey alanlar gibi pasif havalandırma tekniklerini kullanarak iç mekan sıcaklığı azaltılabilir. Ayrıca fan ve üfleyicilerin mekanik olarak kullanılması doğal havalandırmanın etkinliğini artırabilir.
5. Termal köprü olmaması. Isı köprülerini önlemek için tüm kenarlar, köşeler, bağlantılar ve geçişler titizlikle planlanmalı ve uygulanmalıdır. Kaçınılmaz ısı köprüleri mümkün olduğu kadar en aza indirilmelidir. Isı köprülemesini en aza indirmek için yalıtım tabakası sürekli olmalıdır. Yaygın bir örnek, önemli bir termal köprü olabilen konsollu balkon döşemeleridir. Alternatif olarak, yalıtımlı bir balkon bağlantısı, ısı transferini en aza indirmek için bir çözüm olabilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİ

Çalışmanın sonucunda Bakü kent üzerinden ılıman iklime sahip olan kentler için pasif ev inşaatında hangi unsurlara dikkat edilmesi gerektiğine ulaşılmıştır. Bakü'nün iklimi ılıman ve nemlidir. Ortalama yıllık sıcaklık 14,2°C ve temmuz ayında 35-36 derecedir. Yıllık yağış miktarı 300 mm'dir. Yıllık en düşük yağış Bakü'nün güneybatı kesimindedir (150 mm). Bunun nedeni kuzeyden esen "Khazri" rüzgarları ve güneyden esen "Gilavar" rüzgarlarıdır (Baykara, 1975, s. 17-18).

Bakü kentin iklim koşullarına göre pasif ev aşağıdaki verilere göre inşa edilmelidir;

- Sıcak iklimlerde çift cam daha kullanışlıdır.
- Isıl kütle ve hava sızdırmayan malzemeler önem taşımaktadır.
- Hareketli dış gölgeleme elemanları muhakkak kullanılmalıdır.
- Aktif iklimlendirme ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir.
- İlave soğutma ihtiyacında harcanan enerji normal bir konutun kullandığı enerjinin %10 u (≤ 15 kWh/(m²a)) olarak hesaplanmıştır.
- Gerekli ısı koşullara ulaşabilmek için, döşemeden ısıtma ya da soğutma kullanılabilir.

Bakü Absheron bölgesinde yapılan örnek Pasif Ev projesi (Şekil 15) (URL-8, 2022). Bu proje, Absheron bölgesinin özel peyzajı ile ilişkilidir. Renk oluşumu için 2 renk (malzeme) kullanmaya karar verilmiştir. Beyaz (köpük beton) subtropikal iklimler için idealdir ve diğer renkler ve malzemeler güneşte ısınmaz. Genel kompozisyon ile uyum ve kontrastı göz önünde bulundurarak, ikincil malzeme olarak ahşap kullanılmıştır. Gayrimenkul Absheron bölgesinde yer aldığı için bu lokasyon tipi için en çok tavsiye edilen düz çatı tipini seçilmiştir. Üçüncü katın çatısı, evin tüm enerji kaynağına yetecek kadar 22 elementli güneş enerjisi ve sıcak su panelleri ile donatılmıştır. Yatay panellerin yanında üçüncü kattaki cam zeminden gelen güneş ışığının ikinci kattaki salona girmesini sağlayan pencereler yer almaktadır. Ayrıca yarı açık durumdayken evin içinden alınan sıcak havayı sirküle etmektedir. Bu, konforlu bir iç ortamı yaratmaktadır.



Şekil 15.Bakü Absheron bölgesinde pasif ev projesi (URL-8, 2022).

Enerji tasarruflu bir ev, optimal bir mikro iklimi koruyan bir binadır ve üçüncü taraf kaynaklardan çeşitli enerji türlerinin tüketimi, geleneksel binalara kıyasla düşük bir tüketim seviyesindedir. Enerji tasarruflu bir evin iyi bir ısı yalıtımı vardır ve yalnızca üçüncü taraf kaynaklardan termal enerji almakla kalmaz, aynı zamanda bir ısı kaynağı olarak da hizmet eder. Pasif bir ev, geleceğin evi olarak adlandırılabilir. Böyle bir evin, diğerleri gibi, daha önce tartışılan avantajları ve dezavantajları vardır. Bir eko-evde enerji kaynaklarının fiyatlarından bağımsızlık kazanılır, böyle bir yapı daha iyi bir yaşam standardı ve insan sağlığı sağlayacaktır. Enerji tasarruflu bir ev inşa etmek, enerji verimli olmayan benzer bir bina inşa etmekten %10-30 daha pahalıya mal olacaktır. Ancak Pasif Ev standardına ulaşıldığında, geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine yatırım yapmaktan kaçınılabilir ve tasarruf, evin diğer bileşenlerinin kalitesini artırmak için kullanılabilir. Aylık işletme maliyetleri birkaç kez azaltılır. Bu uzun vadeli enerji tasarrufu, özellikle tükenen enerji kaynakları ve artan enerji fiyatları karşısında pasif evi cazip bir yatırım haline getiriyor.

Çalışma sırasında, enerji tasarruflu evlerin, inşaatı her yıl gelişen oldukça gerçek evler olduğu anlaşılmaktadır. Binanın dış cephelerinde kullanılan mimari teknikler (binanın güney cephesinin tamamen cam olması, tampon odaların yapılması vb.) sayesinde enerji maliyetlerinin en aza indirilmesi mümkündür. Pasif evlerin yapımında sadece olumlu yönlerin değil, dezavantajların da olduğunu belirtmekte fayda var. Enerji tasarruflu evlerin dezavantajları şunları içerir:

- Büyük şehirlerin merkezinde pasif-evlerin inşası imkansızdır, çünkü pasif-ev yalnızca alçak konuttur, çoğu zaman bir veya daha fazla aile için bir kulübedir.
- Enerji tasarruflu evler, sert iklime sahip, güneşin az olduğu ve çok sayıda soğuk günlerin olduğu bölgeler için tasarlanmamıştır. Bu tür yerlerde evler yine de üçüncü taraf enerji kaynaklarıyla ısıtılmak zorunda kalacak çünkü pasif bir evde enerji maliyetlerinin en aza indirilmesi güneş ısıtması ile gerçekleştirilir.
- Bir pasif-ev, aynı bölgedeki sıradan bir evden birkaç kat daha pahalıya mal olabilir. Pahalı malzemeler, enerji tasarruflu sistemler ve atık geri dönüşüm sistemlerinin hepsinin yüksek bir maliyeti vardır. Bununla birlikte, bir pasif-ev, enerji tasarrufu nedeniyle zaman içinde kendini amorti edebilir.
- Her pasif-evin projesi, duracağı yerin iklimi, topografyası ve diğer özellikleri dikkate alınarak ayrı ayrı geliştirilir. Bu, pasif-evler için ucuz standart projeler oluşturmayı, imkansız hale getirir. Bu tür evlerin inşası için, evi hava geçirmez hale getirmeyi mümkün kılan yeni teknolojiler üzerinde çalışmak için özel becerilere ihtiyaç vardır.

Pasif bir ev, geleceğin evi olarak adlandırılabilir. Böyle bir evde enerji kaynaklarının fiyatlarından bağımsızlık kazanılır, pasif-evin yapılması daha iyi bir yaşam standardı ve insan sağlığı sağlayacaktır.

8. KAYNAKLAR

Abitov, A. M., & Ataev, M. A. (2016). Passive House- What is it? *Symbol of Science*, (3-3), 23-25.

Akça, S. (2011). LEED yeşil bina değerlendirme sistemi ölçütlerinin tasarım ölçekleri, kavramsal kademelenme ve kaynak kullanımı düzeyinde tutarlılığının ölçülmesi üzerine bir araştırma (Yüksek lisans tezi). https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=EQhwGv71XBjAEqYaiy_aaA&no=9Npug_aW11oCeMiEsZPlY3A, İstanbul, s. 82-91.

Basok, B. I., Blozhko, B. I., Nedbaylo, A. N., & Lysenko, O. N. (2015). Polyvalent heat supply system for a passive house based on renewable energy sources. *Magazine of Civil Engineering*, (6(58)), 32-43.

Baykara, H. (1975). Azerbaycan istiklal mücadelesi tarihi. İstanbul, 17-18.

Drap, P., Seinturier, J., Conte, G., Caiti, A., Scaradozzi, D., Zanolli, S. M., & Gambogi, P. (2008). *Underwater cartography for archeology in the VENUS project*. *Geomatica*, 62(4), 419-427.

Elokhov, A. E. (2013). Passive house: comfort, energy saving, economy. *Communal complex of Russia*, (2), 104.

Golikova, A. A., & Nagaeva, Z. S. (2019). Passive house (eco-house). *Construction and technogenic safety*, (14 (66)), 15-20.

LaFrance, M. (2013). Technology Roadmap: Energy efficient building envelopes. *Paris: International Energy Agency*, 20-21.

Malkov, İ. İ. (2012). Energy saving in housing construction, passive and smart house. *Ministry of Education Belarus Rep. Belarus state transp. - Gomel: BelSUT*. s. 6-8.

Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755.

- Matyeva, A. K., & Shadykhanov, K. T. (2017). Passive house. *Science and innovative technologies*, (3), 112-115.
- Mlakar, J., Strancar, J. (2011). Overheating in residential passive house: Solution strategies revealed and confirmed through data analysis and simulations. *Energy and Buildings*, 43(6), 1443-1451.
- Molodzinskiy, D. S. (2020). Problems of assessing the energy efficiency of passive houses. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42917278>, *Central Scientific Bulletin*, 5(7-10), 13-13.
- Passivhaus Institut, Passivhaus, (2015). <https://passivehouse.com/> (accessed 10 July 2020).
- Salmina, O. E., & Bystrova, T. Yu. (2016). Genesis of sustainable architecture: from passive house to active house. *Genesis ustoychivoy arkhitektury: ot passivnogo doma k aktivnomu domu. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, (3 (56)), 28-39.
- Shalnev, O. G., Fedorova, K. V., & Echkalov, A. V. (2020). "Green" Construction as a Factor in the Development of the Modern Ecosystem. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43042646>. *Digital and Industrial Economics*, (2), 109-114.
- Soloviev, A. K. (2016). Passive houses and energy efficiency of their individual elements. *Industrial and Civil Engineering*, (4), 46-53.
- Sovetnikov, D. O. (2014). Construction of building in accordance with passive house standards. *Construction of unique buildings and structures*, (9), 11-25.
- Terentiev, A. V., & Zolotozubov, D. G. (2020). Passive houses and building energy efficiency tools. *Modern technologies in construction. Theory and Practice*, 2, 52-56.
- Wong, K. D., Fan, Q. (2013). Building information modelling (BIM) for sustainable building design. *Facilities*, 31(3-4), 138-157.
- Zinzi, M. (2016). Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications. *Energy and Buildings*, 114, 206-213.
- URL-1. (2022). <https://www.ecohabitat.gr/worlds-first-passive-house-in-kranichstein-germany/>
- URL-2. (2022). <https://coastandharbor.com/project/norris-cotton-federal-bldg-manchester-go/>
- URL-3. (2022). https://okna.ua/library/art-zdanie_ekonohouse_otaniemi
- URL-4. (2022). <https://www.thevenusproject.com/>
- URL-5. (2022). https://uar.ru/about_us/building/
- URL-6. (2022). <https://volkanatabey.com.tr/bahrain-world-trade-center/>
- URL-7.(2022).<https://gaiadergi.com/cin-gunesle-elektrik-saglayan-dunyanin-en-buyuk-binasina-ev-sahipligi-yapiyor/>
- URL-8. (2022). <https://www.behance.net/gallery/16583601/PASSIVE-HOUSE>

Yeşil Çatı Uygulamalarının Yaygınlaştırılması: Organik Tarıma Elverişli Yeşil Çatı

Dissemination of Green Roof Applications: Green Roof Suitable for Organic Farming

¹Gonca ÖZER, ²Elif Gizem YETKİN

¹Bingöl Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Mimarlık, Bingöl

²Alanya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık, Antalya

Doi: 10.51764/smutgd.1261754

Geliş Tarihi: 07.03.2023

ÖZET

Kabul Tarihi: 26.03.2023

Kentlerde yeşil alanların yok olması kentsel ısı adası, kentsel çevrelerde kirlilik gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar doğrultusunda insanların kentlerde yeşil alan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu sorunlara çözüm olarak yeşil çatı sistemleri düşünülebilmektedir. Yeşil çatılar, mekanların üst örtülerindeki alanların yeşil doku ile değerlendirilebileceği alanlara dönüştürülerek oluşturulmaktadır. Bu çatı sistemlerinin yaygınlaştırılması ve yeni yorumlar katılması kentlerde meydana gelen pek çok soruna çözüm üretmek noktasında fayda sağlayacaktır. Yeşil çatılar organik ürün yetiştirmeye elverişli alanlar olarak değerlendirilirse daha etkili kullanım olanağı oluşturulabilecektir. Bu çalışmada konut kullanıcılarının yeşil çatılar ve organik ürün yetiştirmeye elverişli yeşil çatılar ile ilgili görüşleri alınarak insanların kentlerde bu alanlara duydukları eksiklik ve yeşil çatılara bakış açıları sorgulanmıştır. Konut kullanıcılarının organik yeşil çatı ile ilgili görüşleri alınarak bu uygulamaların hayatlarını nasıl etkileyeceği sorgulanmıştır. Çalışma kapsamında 210 kişiye anket uygulanmıştır. Anket sonuçları grafiklerle değerlendirilerek yorumlanmıştır. Çalışmada kullanıcıların yeşil çatılara bakış açıları değerlendirilerek kullanıcıların bu alanlara ihtiyaç duyduğu veriler ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlara göre insanlar kentlerde organik yeşil çatılara ihtiyaç duymaktadır ve tasarlanacak yapıların üst örtülerinin organik yeşil çatı olarak planlanmasının gerekliliği açıkça ortaya konmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Çatı, Organik Yeşil Çatı, Yeşil Çatılarda Tarım, Çatılarda Tarım, Yeşil Kentler.

ABSTRACT

The disappearance of green areas in cities brings many problems such as urban heat island and pollution in urban environments. In line with these problems, the need for green space in cities is increasing day by day. Green roof systems can be considered as a solution to these problems. Green roofs are created by transforming the areas on the upper covers of the spaces into areas where they can be evaluated with green texture. The dissemination of these roof systems and the addition of new interpretations will be beneficial in producing solutions to many problems occurring in cities. If green roofs are considered as areas suitable for growing organic products, more effective use will be possible. In this study, the opinions of the residents about green roofs and green roofs suitable for growing organic products were taken and the lack of people in these areas in cities and their perspectives on green roofs were questioned. The opinions of the residents about the organic green roof were taken and it was questioned how these applications would affect their lives. Within the scope of the study, a questionnaire was applied to 210 people. The results of the survey were evaluated and interpreted with graphics. In the study, the users' perspectives on green roofs were evaluated and the data that users needed for these areas were revealed. According to the results obtained, people need green roofs suitable for growing organic products in cities and the necessity of planning the top covers of the buildings to be designed in this way is revealed.

Keywords: Green Roof, Organic Green Roof, Agriculture on Green Roofs, Agriculture on Roofs, Green Cities.

Gonca ÖZER, Orcid: 0000-0002-0156-3994, gozer@bingol.edu.tr

Elif Gizem YETKİN, Orcid: 0000-0001-8775-8313, elifgizemyetkin@gmail.com

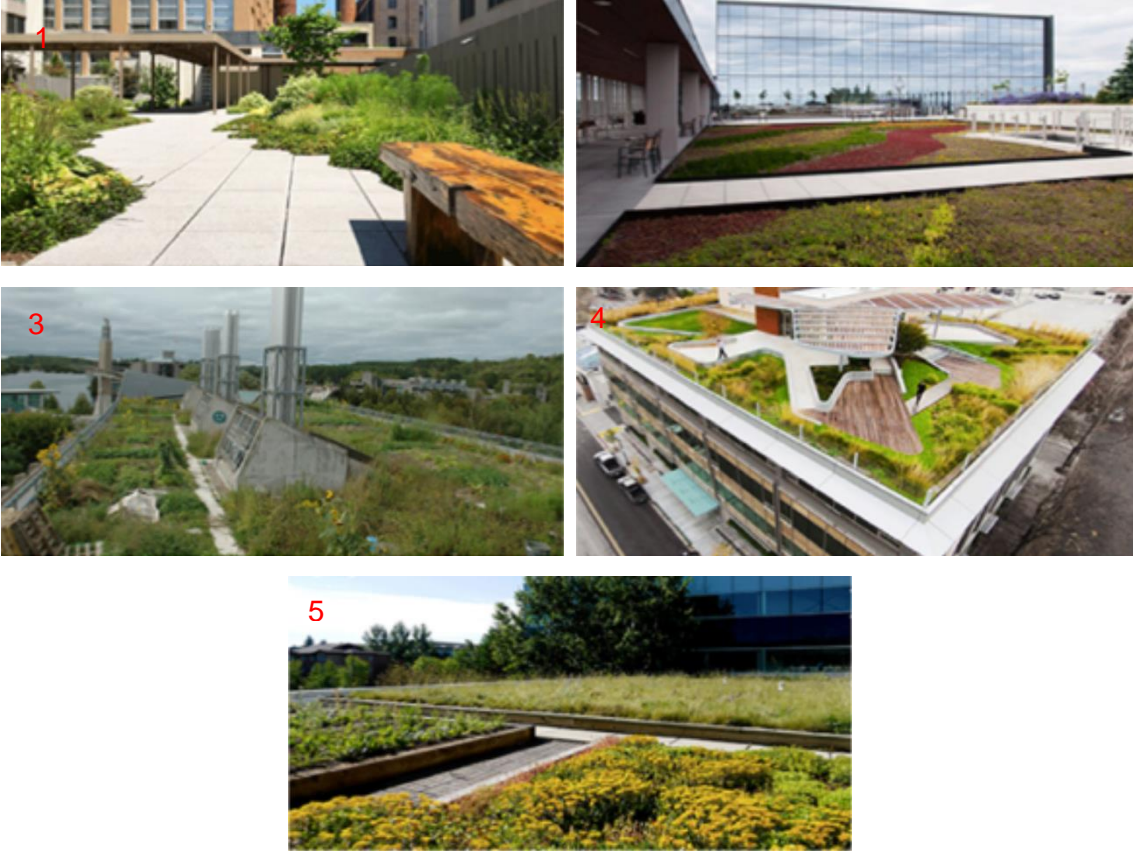
1. GİRİŞ

Yoğun nüfus artışı ve kentlere göç oranının artmasıyla kentle hızla büyümektedir. Hızlı kentleşme hayatı kolaylaştırdığı gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Kentleşme ile artan ihtiyaçlar doğrultusunda kentlerde yoğun yapılaşmalar gerçekleşmekte ve bununla birlikte kentlerdeki yeşil alanlar yok olmaktadır. Kentleşme ile birlikte kentlerde oluşan yoğun sert zemin alanlar beton veya yansıtıcı yapay malzemelerden oluşan yüzeyler insanların sağlıklı mekanlarda yaşamasına elverişli alanlar değildir. Bununla birlikte kentsel ısı adası, yüzeylerde ısının ve ışığın yansımaları parlamaları yutulması gibi görsel ve ısı konforu etkileyecek birçok problemi de beraberinde getirmektedir. Kentleşmenin önüne geçilemeyeceği için kentlerde bu problemlere çözüm olabilecek yaklaşımlardan biri yeşil çatı uygulamalarıdır. Yeşil çatı teknolojilerindeki ilerlemeler 20.yüzyılın ilk yarısında tüm canlıların ışığa, güneşe ve havaya olan ihtiyacı artan biçimde gündeme gelmiş ve bununla birlikte de yeşil çatı söylemini ortaya çıkarmıştır. Mimar Harry Maasz 1930 yılında insanların çatılarda yapılacak olan bahçeler şehirlerdeki çatıların üzerini cennet gibi kaplayacağını ileri sürmüştür (Aras, 2019). Le Corbusier de bu hareketin önemli bir temsilcisidir ve modern mimarideki 5 elemandan birini çatı bahçeleri olarak göstermektedir. (Werthmann, 2007). Günümüzde yeşil çatıların kullanımı, geleneksel çatılara göre sahip olduğu önemli avantajlar ve artan toplumsal farkındalık sayesinde hızla tüm dünyaya yayılmıştır. Çatı bölümlerinin ağırlığını hafifletmeye ek olarak daha düşük uygulama ve bakım maliyetlerine yol açan, teknolojinin sürekli gelişmesi ve malzeme ve süreçlerin incelenmesi (Cascone, 2019) ile bunların kullanımına ilişkin insan deneyimleri giderek daha olumlu hale gelmektedir. 2020 yılında tüm dünyada yayılan coronavirüs pandemisi sebebiyle birçok ülkede işyerleri kapandı ve halkın evde kalması gerekti. Karantina kısıtlamaları ile halka açık parklar ve diğer rekreasyon alanları kapatıldı. İnsanlar zamanlarının çoğunu konut alanları sınırında geçirdi ve konut bağlamında açık ve açık alan ihtiyacı her zamankinden daha gerekli hale geldi. Avrupada Yeşil Mutabakatının bir parçası olarak AB Biyoçeşitlilik stratejisi 2030, yeşil altyapının entegrasyonu yoluyla kentsel çevrede biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetlerinin kaybını önlemeyi amaçlamaktadır (Commission, 2020). Bu sistemlerin birçok çevresel, sosyal ve ekonomik faydası vardır (Manso ve ark., 2021). Doğaya dayalı çözümler, kentsel yeşil alanlar, konutlarda yeşil altyapının uygulanması, yeşil çatıların uygulanması zihinsel ve fiziksel sağlık açısından psikolojik rahatlama sağlamada ve stresin hafifletilmesinde faydalı olabilecek uygulamalardır (WHO, 2016). İnsanlar üzerinde onarıcı diğer etkileri, dikkat eksikliği ve stresten kurtulmaya yardımcı olur (Grahm ve Stigsdotter, 2010). Yeşil alanlarla sık temas, kullanıcılarının refahı üzerinde de önemli faydalar sağlar (Laforteza ve ark., 2009). Yeşil çatıların bu faydaları göz önüne alındığında yeşil çatı uygulamalarının kullanıcıların organik ürünler yetiştirmeye elverişli alanlar olarak planlanması ile daha etkili hale gelebileceği düşünülmektedir. Bu düşünceden yola çıkarak konut kullanıcılarının yeşil çatı ile ilgili görüşleri, bu uygulamalara ihtiyaç duyup duymadıkları, organik tarıma elverişli bir üst örtüye sahip olmayla ilgili görüşleri araştırılmak amaçlanmıştır. Kullanıcıların organik yeşil çatı uygulamasına yaklaşımlarını görmek amacıyla konut kullanıcılarına anket uygulanmıştır. Anket kapsamında 'evet ve hayır' yanıtı içeren yedi soru ve bu soruların ardından kısaca yeşil çatı ile ilgili görüşlerini belirtmelerinin istendiği bir soru yöneltilmiştir. Anket çalışması 210 kişiye uygulanmıştır. Araştırma sonucunda görüşü alınan kullanıcıların büyük bir çoğunluğu organik yeşil çatı fikrinden çok etkilenmiş ve böyle bir uygulamanın yapılmasını istediklerini belirtmişlerdir. Bu çalışma ile konut kullanıcılarının böyle bir uygulamaya ihtiyaç duyduklarını ve istedikleri belirlenerek kentlerde organik tarıma elverişli yeşil çatı uygulamalarının bir gereklilik olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Son yıllarda gerçekleşen hızlı ve yoğun kentleşme süreci ile konut ihtiyacı her geçen gün artmakta ve kentleşme problemlerine çözümler arayışları çalışılmaktadır (Yetkin ve Özer, 2021). Kentleşme sürecinde yoğun yapılaşma alanlarına arayışlarından biri yeşil çatılardır. Yeşil çatılar Çatı bahçeleri ya da bitkilendirilmiş çatı teknolojisi olarak da bilinmektedir. Ekolojik çatı veya yaşayan çatı şeklinde de tanımlanabilmektedir (Aras 2019). Yapıların yangından korunma ve ısı yalıtımı amacıyla toprakla kaplanması ve kamuflaj gibi amaçlarla yapılan uygulamalar göz önünde bulundurulduğunda yeşil çatı uygulamaları eski dönemlere dayanmaktadır. İlk uygulamalar çatı yüzeyinin toprakla kaplanması yoluyla ısı yalıtımı sağlayan örtülerin bitkilendirildiği çatılardır (Dikmen,2015). Son yıllarda özellikle Avrupa ve Amerika'da yeşil çatıya olan ilgi giderek artmaktadır. Yaşanabilir alanlar oluşmasını sağlayan yeşil çatıların ilk örnekleri 1927 yılında Frankfurt, Stuttgart, ve Amerika'daki Rockefeller merkezinde görülmektedir (Aras 2019). Almanya'da imar yönetmelikleri yeşil çatı uygulamalarını teşvik etmektedir ve 2001 yılı sonunda 13,5 milyon metrekare çatı bahçesi yapılmıştır. Tokyoda yeni inşaatların en az % 20 sinin çatılarını yeşil çatı yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Chicago'da bulunan Milenyum Park dünyanın en yoğun ve büyük yeşil çatısıdır (Kabuloğlu,2009). Yeşil çatılar, normalin altında ağırlıklı çevrede yetişen bitkileri ve mikroorganizmaları barındıran biyolojik oluşumlardır (Yücel,2009). Yeşil çatılar üst örtü ile yapı arasındaki sıcaklık ilişkilerini düzenlemektedir. Çatıdaki toprak tabakası yalıtım sağlayarak dış ortam iklim koşullarına bağlı ısı kayıplarını %50 oranında azaltmaktadır (Koç, 2010). Yeşil çatılar ile yağmur sularının büyük

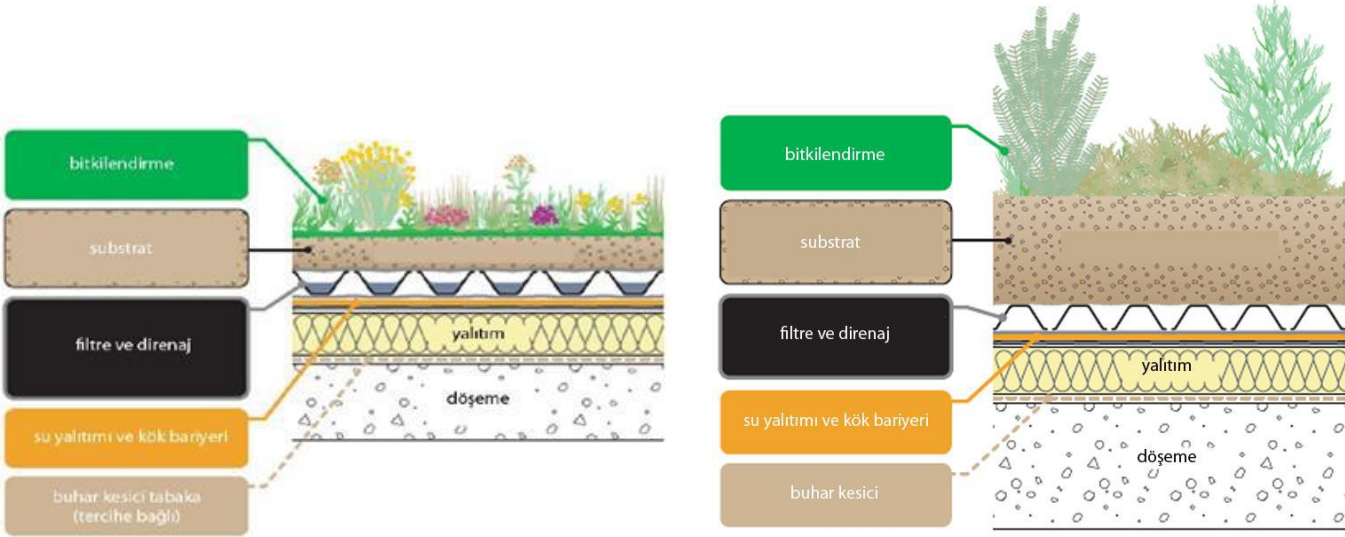
bir bölümü çatı yüzeyinde tutulabilmektedir. Yeşil çatıların bu özellikleri ile binalardaki drenaj yükü azalmakta ve su baskınlarının önüne geçilebilmektedir (Dikmen,2015).Aşağıdaki görsellerde yeşil çatı örnekleri verilmiştir (şekil- 1).



Şekil 1. 2016 Excellence Awards ödüllü yapıardan seçilmiş yeşil çatı örnekleri; (1) konut yapıları, (2,3) kurumsal yapılar, (4,5) ticari yapılar (Shafique ve ark,2018)

Yeşil çatı çeşitleri

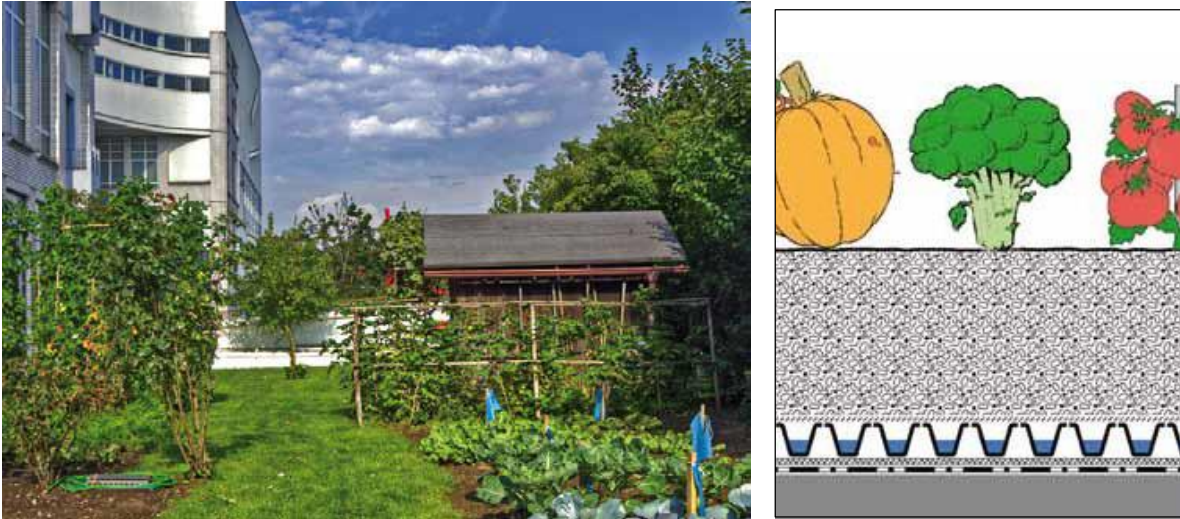
Yeşil çatılar yeni yapılan çatılara sonradan veya mevcut bir çatı üzerine kurulmaktadır (DDC, 2007). Yeşil çatıların iki temel kullanımı alanı vardır. Birincisi; eğlence, estetik ve sosyal faydaları olan işlevsel olarak kullanımı, İkincisi ise; fauna ve flora için yaşam ortamı oluşturan yeşil çatı sistemleridir. Kentlerde doğal yaşam olanağı sunmaktadır. Bu kullanım şekli ile kentin estetiğine katkıda bulunabilir veya bulunmayabilir (Green Roof Manual, 2009). Yeşil çatılar genellikle yetiştirme ortamının derinliği, dikey yükler, ekili yüzey alanı ve bitki türleri göz önünde bulundurulduğunda intansif (yoğun), ekstansif (seyrek) ve yarı intansif yeşil çatılar olarak 3 grupta ayrılmaktadır (Şekil 2-3) (Lanham, 2007). Ekstansif (seyrek) yeşil çatılar tabakalı sistem olarak da bilinmektedir. Yukarıdan aşağıya doğru; bitkilendirme, yetiştirme ortamı, drenaj ve filtre tabakası, kök bariyeri, su yalıtım membranı tabakalarından oluşmaktadır (Erkul, 2012). Yetiştirme ortamı kalınlığı 30-40 cm'dir. Ekstansif bitkilendirmelerde, yalnız bodur çalılar, tek yıllık ya da çok yıllık yabancı otlar kullanılmaktadır (Karakaya ve Kısa Ovalı 2016). İntansif (yoğun) Yeşil Çatılar daha çok çeşitli bitki türlerine olanak sağlayan, toprak derinliği veya yetiştirme ortamına sahip sistemleri tanımlamaktadır (Weiler ve Scholz-Barth, 2009). Bu tip yeşil çatı türü eski tarz çatı bahçelerine benzemektedir (Dunnett ve Kinsbury, 2008). Genellikle rekreasyon alanları yaratmak için uygulanmaktadır (Alcazar, 2004). Yetiştirme ortamı kalınlığı en az 50 cm'dir (Karakaya ve Kısa Ovalı 2016). Yarı intansif (yarı-yoğun) yeşil çatılar; intansif ve ekstansif yeşil çatının karışımıyla oluşturulan sistemlerdir (Lanham, 2007). Ekstansif çatılara göre daha fazla derinliğe (Wheeler ve ark., 2010) ve daha fazla bitki çeşitliliğine sahiptir. Fakat toprak derinliği büyük çalılar veya ağaç yetiştirmek için yeterli değildir (DDC, 2007).



Şekil 2. Ekstansif (seyrek) yeşil çatı profili (Guide to green roofs, 2011)

Şekil 3. İntansif (yoğun) yeşil çatı profili (Guide to Green Roofs, 2011)

Yeşil çatıların bu özellikleri düşünüldüğünde bu alanların rekreasyon alanı olarak kullanmasının yanında organik tarım ürünlerinin yetiştirilebileceği alanlar olarak kullanılması bu alanların daha verimli hale gelmesini sağlayacaktır. Marul, soğan, kabak, patlıcan, kabak, lahana, kavun, çilek, otlar ve benzeri meyve ve sebzeler için uygun yetiştirme ortamı sağlanarak bu çatılarda organik ürünler yetiştirilerek çatılar daha etkili hale getirilebilir.

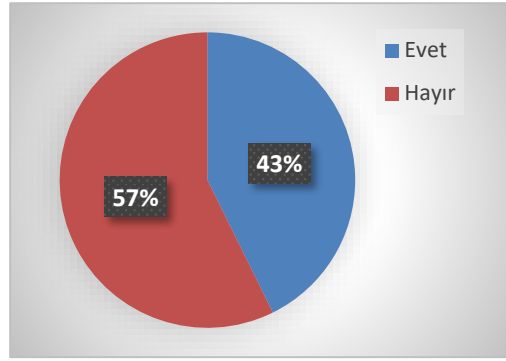
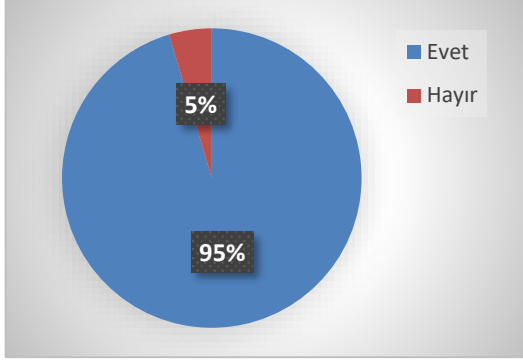


Şekil 4. Organik tarıma elverişli yeşil çatı (<https://zinco-greenroof.com/>)

Bu düşünceden yola çıkarak bu çalışmada konut kullanıcıların yeşil çatılara ve organik ürünler yetiştirmeye uygun yeşil çatılara karşı görüşleri araştırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

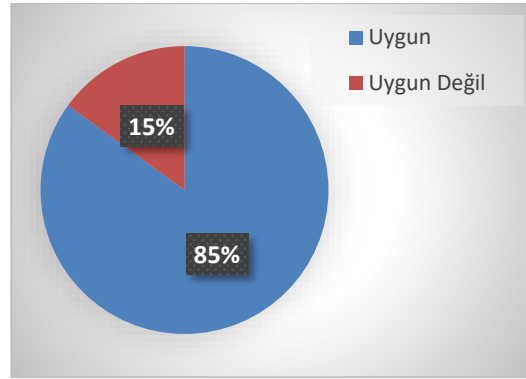
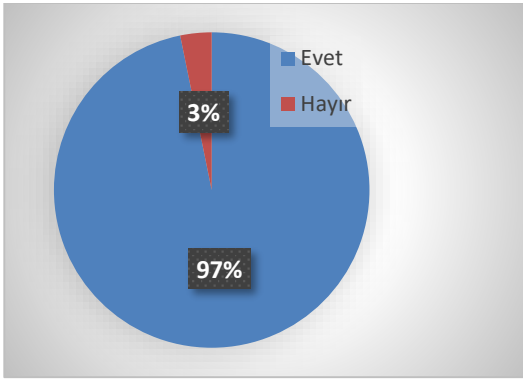
Araştırma kapsamında konut kullanıcılarına yeşil çatı ile ilgili görüşlerinin almak için kısa bir anket uygulanmıştır. Anket kapsamında 'evet ve hayır' yanıtları içeren yedi soru ve bu soruların ardından kısaca yeşil çatı ile ilgili görüşlerini belirtmelerinin istendiği bir soru yöneltilmiştir. Anket çalışması 210 kişiye uygulanmıştır. Kullanıcılara yöneltilen ilk soru 'yaşadığınız mekanlarda bitki (Sebze-meyve gibi) yetiştirmeye elverişli bir alana sahip olmak ister misiniz?' dir. Bu soruya kullanıcıların verdikleri yanıtlar aşağıdaki grafikte Şekil 5'de görülmektedir. 'Yeşil çatı uygulamasını daha önce duydunuz mu?' sorusuna kullanıcıların verdikleri yanıtlar aşağıdaki şekil 6'de görülmektedir.



Şekil 5. Kullanıcıların 'yaşadığınız mekanlarda bitki (Sebze-meyve gibi) yetiştirmeye elverişli bir alana sahip olmak ister misiniz?' sorusuna yanıtları.

Şekil 6. Kullanıcıların 'Yeşil çatı uygulamasını daha önce duydunuz mu?' sorusuna yanıtları.

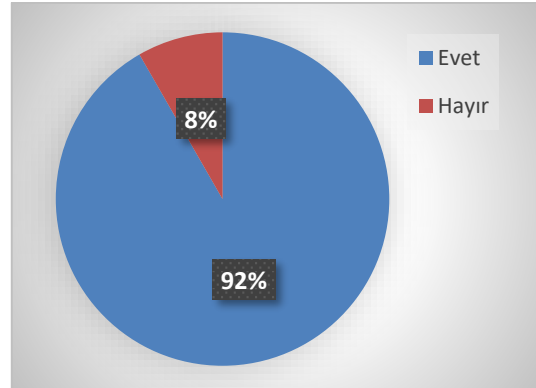
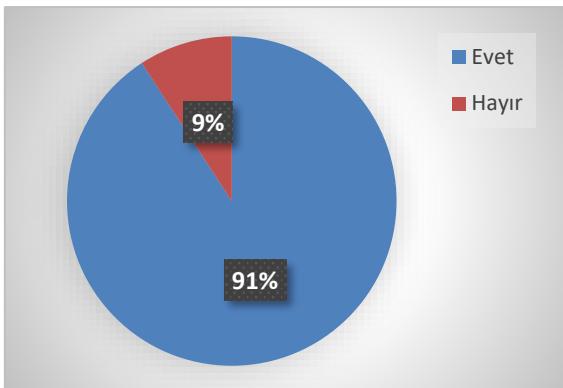
Şekil 5'deki grafikteki verilerde de görüldüğü gibi ankete katılanların %95,4'ü bitki sebze yetiştirmeye elverişli alan olmasını istediğini % 4,6'sı ise istemediğini belirtmiştir. Şekil 6'de bulunan grafikteki verilere göre ankete katılanların %42,7'si yeşil çatı uygulamasını daha önce duyduğunu, %57,3'ü ise duymadığını söylemiştir. 'Yaşadığınız mekanın çatısında bitki yetiştirmeye elverişli bir alan olmasını ister misiniz?' sorusuna ankete katılanların verdiği yanıtların olduğu grafik şekil 3'de görülmektedir. Ankete katılanların 'Yaşadığınız mekanın çatısı yeşil çatı olsaydı eğer bu alan tarım yapılması uygun mudur?' sorusuna verdikleri yanıtlar şekil 4'de bulunan grafikte görülmektedir.



Şekil 7. Kullanıcıların 'Yaşadığınız mekanın çatısında bitki yetiştirmeye elverişli bir alan olmasını ister misiniz?' sorusuna yanıtları.

Şekil 8. Kullanıcıların 'Yaşadığınız mekanın çatısı yeşil çatı olsaydı eğer bu alan tarım yapılması uygun mudur?' sorusuna yanıtları.

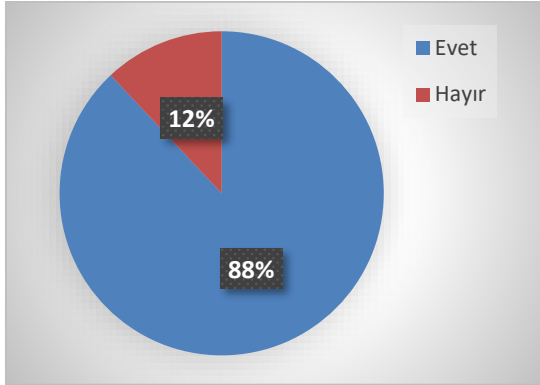
Ankete katılanların %96,8'i yaşadıkları mekanların çatısında bitki yetiştirmeye elverişli alanlar olmasını istediğini belirtmiştir %3,2'si böyle bir alanın olmasını istemediğini belirtmiştir. Ankete katılanların %85'i yaşadığı mekanın çatısı yeşil çatı olsaydı eğer bu alan tarım yapılması uygun, %15'i ise uygun olmadığını düşünmektedir. Kullanıcılara yönlendirilen 'Yaşadığınız mekanın çatısında bitki yetiştirilecek alanda organik tarım yapmak ister misiniz?' sorusuna verilen yanıtlar Şekil 9'de verilmiştir. Kullanıcıların 'Yeşil çatılarda yetiştirilen ürünleri satın alır mısınız?' sorusuna verdikleri yanıtlar ise Şekil 10'da verilmiştir.



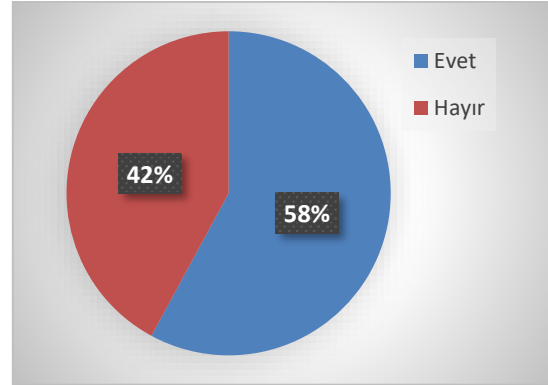
Şekil 9. Kullanıcıların 'Yaşadığınız mekanın çatısında bitki yetiştirilecek alanda organik tarım yapmak ister misiniz?' sorusuna yanıtları.

Şekil 10. Kullanıcıların 'Yeşil çatılarda yetiştirilen ürünleri satın alır mısınız?' sorusuna yanıtları.

Ankete katılanların %90,8'i Yaşadığı mekanın çatısında bitki yetiştirilecek alanda organik tarım yapmak istediğini belirtmiştir. %9,2'si böyle bir alanda bitki yetiştirmeyi istemediğini belirtmiştir. Ankete katılanların %91,7'si yeşil çatılarda yetiştirilen ürünleri satın alacağını söylemiştir %8,3'ü ise almayacağını belirtmişlerdir. Ankete katılanların 'Yaşadığınız mekanın çatısına organik yeşil çatı uygulaması yapılırsa bunun için bütçe ayırır mısınız?' sorusuna verdikleri yanıtlar Şekil 11'de, 'Yaşadığınız mekanın çatısına organik yeşil çatı uygulaması yapılırsa bakımını kendim yapabilirim' seçeneğine verilen yanıtlar ise Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 11. Kullanıcıların 'Yaşadığınız mekanın çatısına organik yeşil çatı uygulaması yapılırsa bunun için bütçe ayırır mısınız?' sorusuna yanıtları.



Şekil 12. Kullanıcıların 'Yaşadığınız mekanın çatısına organik yeşil çatı uygulaması yapılırsa bakımını kendim yapabilirim' sorusuna yanıtları.

Ankete katılanların %88'i Yaşadığı mekanın çatısına organik yeşil çatı uygulaması yapılırsa bunun için bütçe ayıracağını belirtmiştir. %12'si ise bütçe ayırmayacağını belirtmişlerdir. Ankete katılanların %57,9'u Yaşadığı mekanın çatısına organik yeşil çatı uygulaması yapılırsa bakımını kendi yapabileceğini, %42,1'i ise destek alacağını belirtmiştir.

Yeşil Çatı ile ilgili görüşler:

Seçmeli soruların yanında katılımcıların yeşil çatılarla ilgili görüşlerini kısaca belirtmeleri istenmiştir. Bu kapsamda katılımcılar organik yeşil çatı ile ilgili olumlu görüşler belirtmişlerdir. Bu görüşlerden bazıları şu şekildedir.

- Konutlarımızın çatılarında böyle bir uygulama yaşadığımız mekana olan aidiyet hissimizi artıracaktır. Bununla beraber üretime yeşil çatılar aracılığıyla dahil olmak gündelik pratiklerimize de katkı sağlayacaktır.
- İklimi uygun yerlerde yeşil çatılarda sebze meyve de yetiştirilmesi avantajlı olabilir böylelikle yeşil çatıların işlevselliği de artmış olur.
- Yapılı çevrenin azalttığı toprak alanlarının yeşil çatı uygulamalarıyla artırılmaya çalışılması yeşili, üretimi ve özellikle yaşamı olumlu yönde etkilediğini düşünüyorum.
- Ekonomik açıdan insanların yararına olacağını düşünüyorum. Çünkü yeşil çatı sayesinde insanlar kendi istediklerini üretilip kendi istedikleri gibi tüketebilecek.
- Özellikle tarım alanlarının azaldığı ve dünya nüfusunun sayısı günden güne artan bir çoğunluğunun yiyecek sıkıntısı çektiği 21. yüzyılda, betonarme mekanların kullanım açısından organik tarıma elverişli yeşil çatı uygulamasına geçilmesini; hem küresel ısınmanın önüne geçilmesi hem de yiyecek kıtlığının önlenmesi açılarından faydalı buluyorum.
- Nüfus arttıkça ve şehirleşme çoğaldıkça binalardaki yeşil çatılar önem kazanacak. Çünkü kırsalda ki üretim yetmeyecek. Bunun için verimli yeşil çatılar gelecek için zaruri olabilir.
- Tüketim, nüfus ve üretim yaklaşımları göz önünde bulundurulduğunda gıda arzının azalmayacağı kaçınılmaz görünmektedir. Üretim parametreleri düşünüldüğünde modern insanın modern birer çiftçi olması zorunluluk haline gelmiş durumdadır.

Bu görüşler dışında anket uygulanan tüm kullanıcılar organik yeşil çatılar ile ilgili olumlu görüşlerini belirtmişlerdir. Tüm bu görüşler göz önüne alındığında kullanıcılar için organik yeşil çatı uygulamaları faydalı bir fikir olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda yoğun kentleşme ile ortaya çıkan çevre sorunları insanların günlük hayatlarını ve geleceklerinin önemli ölçüde etkilemektedir. Yeşil alanların ve tarım alanlarının yok olması sorununa yenilikçi ve çevreci yaklaşımlarla çözüm üretmek önemli bir zorunluluktur. Bu anlayışla yapılan bu çalışmada yapı yoğunluğu her

geçen gün artan kentlerde yeşil alanların ve tarım alanlarının yok olma problemine çözüm olabilecek organik yeşil uygulaması değerlendirilerek Bu uygulamaya insanların bakış açısı kullanıcılara anket soruları yöneltilerek araştırılmıştır. Araştırma sonucu elde edilen verilere göre anket uygulanan kullanıcıların %97'si yaşadıkları mekanların çatılarında bitki yetiştirmeye elverişli alanlar olmasını istediklerini belirtmişlerdir. Bu oran insanların çevrelerinde yeşil çatılara duydukları ihtiyacın önemini göstermektedir. Yine kullanıcılara uygulanabilecek 'yeşil çatılarda organik tarım yapmak ister misiniz' sorusuna %91 oranında evet yanıtı alınmıştır. Bu oran organik yeşil çatı uygulamalarının önemli bir gereklilik olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Kullanıcılara yeşil çatılarla ilgili görüşlerini sorduğumuzda, tüm kullanıcılar olumlu görüşler belirtmişlerdir. Mekanlarda aidiyet duygusunun artacağını, mekanların üst örtülerine işlev verilmesinin gerekliliği, yeşil çatılarda organik tarım yapılmasının gıda ihtiyacını azaltmada etkili olabileceği ve ekonomik fayda sağlayacağı gibi görüşler belirtmişlerdir. Bu görüşlerin dışında tüm katılımcılar organik tarıma elverişli yeşil çatıların uygulanmasının yaşamı olumlu etkileyeceği yönünde fikirler belirtmişlerdir. Bu bağlamda tasarlanacak olan binaların veya mevcut binaların üst örtülerinin bu önemi dikkate alarak yeşil çatı uygulaması olarak düşünülmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Uygulanacak yeşil çatıların ise organik tarıma elverişli alanlara dönüştürülmesi gerekliliği açıktır. Tasarımcılar, mimarlar ve uygulamacıların planladıkları binalarda organik yeşil çatı ihtiyacının önemini göz önünde bulundurarak öneriler geliştirmesi gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Alcazar, S. S. Greening The Dwelling: A Life Cycle Energy Analysis of Green Roofs in Residential Buildings. Toronto: University of Toronto, Graduate Department of Civil Engineering, The Degree of Master of Science. 2004.
- Aras B. B. Kentsel Sürdürülebilirlik Kapsamında Yeşil Çatı Uygulamaları. Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi 2019, 8(1): 469-504.
- Cascone S. Green roof design: state of the art on technology and materials. Sustainability, 11, 2019, 3020.
- Commission E., EU Biodiversity Strategy for 2030. Bringing Nature Back into Our Lives, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, 2020.
- DDC. DDC Cool & Green Roofing Manual. NYC Department of Design & Construction. Office of Sustainable Design by Gruzen Samton Architects LLP with Amis Inc. Flack + Kurtz Inc. Mathews Nielsen Landscape Architects P.C. SHADE Consulting, LLC. 2007.
- Dikmen Ç. B., Savcı S. Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Kapsamında Çevre Dostu Yeşil Çatı Uygulamalarının İrdelenmesi. 2nd International Sustainable Building Symposium, 2015.
- Dunnett N. ve Kingsbury N. Planting Green Roofs and Living Walls (Second Printing), Portland, London: Timber Press Inc. 2008.
- Erkul E., Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 2012.
- Grahn P., Stigsdotter U.K. The relation between perceived sensory dimensions of urban green space and stress restoration, Landsc. Urban Plann, 2010, 94 (3-4), 264-275.
- Green Roof Manual. 2009.
- Guide to Green Roofs. 2011.
<https://zincogreenroof.com>.
- Kabuloğlu Karaosman S. Yeşil Çatıların Ekolojik Yönden Değerlendirilmesi. Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi, Cemre Basın Yayın Hizmetler Ltd. Şti, İstanbul, Sayı: 279, Mart, 2009, 50 - 58, Cemre Basın Yayın Hizmetler Ltd. Şti, İstanbul.
- Karakaya Aydin B., Kısa Ovalı P. Contributions of Roof Gardens to Urban Life – Planting Proposals for Roofs of New Term Accommodation Buildings in Edirne. Inonu University Journal of Art and Design İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 6 (14), 1-17, 2016.
- Koç, Y. ve Gültekin, A.B. Yeşil Çatılar ve Türkiye'deki Uygulamaları. 5. Ulusal Çatı-Cephe Sempozyumu, İzmir. 2010.
- Laforteza R., Carrus G., Sanesi G., Davies C. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress, Urban For. Urban Green, 2009, 8 (2), 97-108.
- Lanham J.K. Thermal Performance of Green Roofs in Cold Climates. Kingston, Ontario, Canada: Queen's University, Department of Civil Engineering, The Degree of Master of Science (Engineering). 2007.

- Manso M., Teot'onio I., Silva C.M., Cruz C.O. Green roof and green wall benefits and costs: a review of the quantitative evidence. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2021, 135.
- Shafique M., Kim R., Rafiq M., Green roof benefits, opportunities and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2018),757–773.
- Weiler S.K. ve Scholz-Barth K. *Green Roof Systems – A Guide to the Planning, Design and Construction of Landscape Over Structure*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- Werthmann C. *Green Roof – A Case Study: Michael Van Valkenburgh Associates' Design For The Headquarters of The American Society of Landscape Architects*. Princeton Architectural Press, New York, 2007.
- WHO, Urban green spaces and health, in: A. Egorov, P. Mudu, M. Braubach, M. Martuzzi (Eds.), *World Health Organization Regional Office for Europe*, Copenhagen, 2016.
- Yetkin, E. G., Özer Yaman, G., Bingöl İli Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Sürdürülebilirlik Bağlamında Değerlendirilmesi, 2nd International Congress On Engineering Sciences And Multidisciplinary Approaches, 2021
- Yücel, Ç. *Sürdürülebilirlik ve Yeşil Çatılar*. 21. Yapı ve Yaşam Kongresi, Bursa, 2009.

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMLARINDA YAPIM YÖNETİM EĞİTİMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI
(TÜRKİYE VE KKTC ÖRNEKLEMİ)
A COMPARATIVE OF CONSTRUCTION MANAGEMENT EDUCATION IN CIVIL ENGINEERING
PROGRAMS (TÜRKİYE AND TRNC SAMPLE)

Saif Alaa Raheem ABUGELAL¹, Hakan ÇAĞLAR^{2*}

¹Kırşehir Ahi Evran University, Institute of Science, Department of Advanced Technologies, Kırşehir
^{2*}Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering,
Kırşehir

Doi: 10.51764/smutgd.1280221

Geliş Tarihi : 10.04.2023

ÖZET

Kabul Tarihi : 12.04.2023

Yapım yönetimi, inşası yapılacak olan yapının planlama aşamasından yapıyı tamamlayıp yıkım sürecinin bitimine kadar süren uzun ve karmaşık bir süreçtir. Bu sürecin yönetilmesi alanında uzman bireylerle verimli ve faydalı olmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC)'nde bulunan inşaat mühendisliği programlarında, lisans düzeyinde verilen yapım yönetimi eğitiminin değerlendirilmesi, güncel durumunun sergilenmesi, ders içeriklerinin analiz edilmesi ve iki ülkede verilen bu dersin ve ders içeriklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye'de ve KKTC'de bulunan bütün üniversitelerin (devlet ve vakıf) inşaat mühendisliği lisans programları araştırma kapsamına dahil edilmiştir. Sonuç olarak; 2022 yılı eylül ayı itibarıyla Türkiye'de 117 üniversitede inşaat mühendisliği programının bulunduğu, bunlardan 61 üniversitede yapım yönetimi ve ilişkili derslerin yer aldığı görülmüştür. KKTC'de 9 üniversitede inşaat mühendisliği programı bulunduğu, bunlardan 7 üniversitede yapım yönetimi ve ilişkili derslerin yer aldığı görülmüştür. Ders içerikleri incelendiğinde yaklaşık %80 oranında benzerlik gösterdiği, büyük bir çoğunluğun dersin ismini yapım yönetimi olarak kullandığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak proje yönetimi, inşaat yönetimi sıklıkla kullanılan isimler arasında yer aldığı görülmüştür. Yapım yönetimi ve ilişkili derslerin sadece inşaat mühendisliği değil mimarlık, işletme vb. disiplinlerde de eğitim planına dahil edilmelidir. Bunun yanı sıra sadece lisans eğitiminde değil lisansüstü eğitimle de konu daha detaylı ve uzmanlaştırma amacıyla uygulamaya geçirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Yapım yönetimi, inşaat mühendisliği, ders içeriği, Türkiye, KKTC

ABSTRACT

Construction management is a long and complex process that covers from the planning stage of the building to be constructed to the completion and the end of demolition process. Managing this process is efficient and useful with experts in the field. In this study, the aim is to assess the current status of construction management education provided at undergraduate civil engineering programs in Türkiye and the Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC), to analyze the course contents and to compare the course and course contents in the two countries. For this purpose, the undergraduate civil engineering programs of all universities (state and foundation universities) in Türkiye and TRNC were included in the scope of the study. As a result, as of September 2022, 117 universities in Türkiye have civil engineering programs, 61 of which provide construction management and related courses. It has been concluded that there are civil engineering programs in 9 universities in TRNC and 7 of these universities provide construction management and related courses. When the course contents were analyzed, it has been determined that there is approximately 80% similarity and that the majority of them name the course as construction management. In addition, project management and construction management are among the frequently used course titles. Construction management and related courses should be included in the curriculum not only in civil engineering but also in departments such as architecture, business administration, etc. Furthermore, not only in undergraduate education but also in postgraduate education, the courses should be put into practice in more detail and with the aim of specialization.

Keywords: Construction management, civil engineering, course content, Türkiye, TRNC

1. INTRODUCTION

Our country is constantly growing and its needs are increasing with this growth. Construction has been the most significant factor in this growth. Construction is a field that includes more than 250 sub-fields and provides goods and services to these fields. This has led to construction being characterized as the engine of the economy (Oladinrin et al., 2012; Wells, 1985). For nearly three decades, the Turkish construction industry has had a market that has progressed enough to make a name for itself abroad. Thus, it has become a sought-after industry in the international business world (İNTES, 2013; Aydın, 2014).

The term construction, which started to be used with the first human being, forms the basis of the most essential need, shelter, which has been through different civilizations throughout history. The construction sector is the backbone of the construction industry. The biggest characteristic that distinguishes this sector from other sectors is that it has a wide range and a different structure (Daşdelen, 2006).

The term construction management refers to managing the growing and complex construction process on this long journey. This complex process consists of planning, programming, design, proposal, tendering, contracting, construction (yapım), acceptance, occupancy and demolition.

The construction management process involves many participants. Entrepreneurs, consulting, suppliers, contractors, training organizations are some of them.

Construction management used to be seen as a simple and easy concept. However, rapidly developing and growing technology and the construction sector projects in accordance with this technology have started to grow and turn into a complex structure (Ahuja et al., 2010; Lam et al., 2010; Martínez et al., 2016; Sardoud, 2015; Parsamehr et al., 2022). This has not only complicated the process, but has started to lead to a major deadlock. Therefore, the construction process needs to be planned and organized efficiently. In other words, there is a need for experienced persons in the field of construction management who can facilitate this process and complete it in the most efficient way. In order to meet this need, civil engineers who have received this education are needed. This education should be provided in the form of adding construction management and related courses to the curriculum of undergraduate education or providing postgraduate education in this field (Doloi, 2013; Khademi, 2014; Memon et al., 2011; Parsamehr et al., 2022). In this field, which is studied all over the world, students take courses from different fields such as architecture, law, civil engineering and business administration. In addition to all these, studies have recently been conducted on the use of construction management and education in different fields, its current status, future applications and drawbacks (Kesim, 2018). It is used in many fields such as construction management, geographic information systems (GIS) (Cengiz & Güney, 2011; Cengiz, 2012; Cengiz et al., 2016), building information modeling (BIM), restoration projects (Ünver & Alptekin, 2021), mining works (Keleş & Keleş, 2017), computer engineering (Yitmen & Dikbaş, 2002; Ertekin, 2008), Nanotechnology (Demirdöven & Arditi, 2012).

In this study, the aim is to assess the construction management education given at undergraduate civil engineering programs in Türkiye and TRNC, to present the current status and to compare this course provided in the two countries.

2. CONSTRUCTION MANAGEMENT EDUCATION IN TÜRKİYE AND THE WORLD

The construction sector is a structure that constantly updates itself, changes and cooperates with different disciplines. For this reason, it is very important that faculty members in civil engineering programs educate civil engineers who are experts in this field. Runeson explained this as "Universities not only teach knowledge but also provide the techniques and skills to develop and advance that knowledge" (Runeson, 2018).

Other than analysis and design, construction management education contributes civil engineers to the legal, economic and managerial planning and implementation of the project during the project process. The historical development of construction management in Türkiye is listed below.

- ✓ It was first given in 1967 by Prof. Dr. Doğan SORGUÇ from the Middle East Technical University under the title "Construction Strategies". This education was canceled after a short period of time (Kuruoğlu and Ezcan, 2018).
- ✓ In 1976, it was planned to include the Construction Engineering Program in the curriculum at the Middle East Technical University, but it was canceled before it could be implemented (Sorguç, 1993).
- ✓ Until the 1980s and 1990s, no attempt was made to introduce a program on construction management.

In the following years, construction management and related courses were included in the curriculum of the programs.

- ✓ The most important step related to the issue was the introduction of Master's degree programs related to construction management in the 1990s (Berköz and Kanoğlu, 1993).
- ✓ Today, there is no department related to construction management . This problem has been solved by adding courses in the compulsory/elective category to the Civil Engineering programs of universities providing undergraduate education.
- ✓ Engineers or architects who intend to specialize in construction management get a master's degree in construction management and related fields (Kesim, 2018).
- ✓ Other than the master's degree, institutions and organizations such as the Chamber of Engineers, Chamber of Architects, MENTOR Project Management Training and Consultancy, BİYMED (Information Management Engineering Training and Consultancy Services) organize seminars or provide optional information through certificate programs (Daşdelen, 2006).

All over the world, the idea of construction management first emerged in the 1930s. In the same period, the construction management sector was introduced. Later in the 1960s, construction management became a necessity. For this reason, computer-aided programs started to be developed. In 1975, construction management became a form of professional management. In 1980, construction management started to be used as a management style. Since 2000, it has been continuously revised to its current form (Arioğlu et al., 1991).

The constant change in world balances leads to an awareness of the importance of construction management. This awareness increases the idea that education on construction management should be given more emphasis. This has led to education on construction management in different countries around the world be provided. The United States of America is the country that has established a certain order, scope and systematization of construction management and education worldwide. In the US, research has been conducted on the integration of knowledge from different disciplines in the construction management process, which brings together multiple disciplines.

In the United States, there are many organizations in the field of construction management education. The most important of these is the American Council for Construction Education. This company was founded in 1974. The company organizes its education programs with the aim of providing, encouraging and supporting quality construction management education on a global platform, without any profit motive. For this purpose, they made an agreement with the The Chartered Institute of Building (CIOB) in the UK and recognized each other's equivalence. Construction management education in the US is provided in three ways. These are 2-year institute or college education (associated degree), 4-year bachelor's degree (baccalaureate degree) and Master's degree (Maaster Degre). People who have successfully completed these educations are awarded Construction Management Specialist, Construction Management Bachelor's Degree and Construction Management Master's Degree certificates respectively (Daşdelen, 2006; Kesim, 2018).

2.1. Titles of Construction Management Courses in Türkiye

Within the scope of the thesis study, 117 of 210 universities in Türkiye have civil engineering programs. The 8-semester education plans of these universities have been analyzed and it has been seen that 61 universities have courses related to Construction Management. Table 1 shows the course titles and course status. According to the table, 18.03% (11 universities) of the 61 universities with construction management courses and related courses added construction management and related courses as elective courses, while the remaining 81.97% (50 universities) added the courses as compulsory courses.

Table 1. Course title and status

Universities	Course Title	Course Status
Akdeniz University	Management Organization	Elective
Antalya Bilim University	Building management	Compulsory
Atatürk University	Construction Management	Compulsory

Aydın Adnan Menderes University	Construction Management	Compulsory
Bahçeşehir University	Project Management	Elective
Balıkesir University	Construction Management	Compulsory
Başkent University	Construction Engineering Project Management	Compulsory
Bayburt University	Building Management and Building Construction Technique	Compulsory
Bilecik Şeyh Edebali University	Building Management and Building Construction Technique	Compulsory
Bingöl University	Construction Engineering Project Management	Compulsory
Bitlis Eren University	Project Management	Elective
Bursa Technical University	Construction Management	Compulsory
Bursa Uludağ University	Construction Management	Elective
Çanakkale 18 Mart	Project Management	Elective
Çankaya University	Construction Engineering Project Management	Compulsory
Çukurova University	Project Management	Compulsory
Dokuz Eylül University	Building management	Elective
Düzce University	Construction Management	Compulsory
Erciyes	Construction Project Management	Elective
Erzincan Binali Yıldırım University	Project Management	Elective
Erzurum Technical University	Construction Engineering And Management	Compulsory
Eskişehir Osmangazi University	Building Management and Building Construction Technique	Elective
F. S. M. Vakıf University	Construction Engineering And Management	Compulsory
Fırat University	Construction Management	Compulsory
Giresun University	Building Management and Building Construction Technique	Compulsory
Hacettepe University	Construction Management	Compulsory
Hakkari University	*Building Management and Building Construction Technique *Management and Organization	Compulsory
Harran University	Construction Management	Compulsory
Isparta University of Applied Sciences	Construction Engineering And Building Management	Compulsory
İnönü University	Construction Management	Compulsory
İskenderun Technical University	Construction Management	Compulsory
İstanbul Aydın University	Project Management	Compulsory
İstanbul Beykent University	Project Management	Compulsory
İstanbul Bilgi University	Construction Management and Investment Analysis	Compulsory

İstanbul Gelişim University	Construction Management	Compulsory
İstanbul Medeniyet University	Project Management and Feasibility Study	Compulsory
İstanbul Okan University	Construction Engineering And Management	Elective
Istanbul Commerce University	Construction and Project Management	Compulsory
Istanbul University-Cerrahpaşa	Project and Construction Management	Compulsory
İstinye University	Construction Project Management	Compulsory
İzmir Kâtip Çelebi University	Building Project Management	Compulsory
İzmir Institute of Technology	Building Engineering Management	Compulsory
Karamanoğlu Mehmetbey University	Construction Management	Compulsory
Kastamonu University	Construction Management	Elective
Kırklareli University	Project Management	Compulsory
Konya Technical University	Building Management Application	Compulsory
KTO Karatay University	Construction Management	Compulsory
Malatya Turgut Özal University	Construction Management	Compulsory
Marmara University	Construction Engineering And Management	Compulsory
MEF University	Construction Management	Compulsory
Muğla Sıtkı Koçman University	Project Management	Compulsory
Munzur University	Project Management	Compulsory
Nevşehir Hacı Bektaş Veli University	Construction Management	Compulsory
METU	Construction Engineering And Management	Compulsory
Osmaniye Korkutata University	Construction Management	Compulsory
TED University	Construction Engineering And Management	Compulsory
Tekirdağ Namık Kemal University	Construction Management	Compulsory
Yalova University	Project Management and Planning	Compulsory
Ufuk University	Project Management	Compulsory
Yeditepe University	Construction Management	Compulsory
Zonguldak Bülent Ecevit University	Project Management	Compulsory

Figure 1 shows a graph of the courses related to construction management in civil engineering programs at universities in Türkiye.

In the research studies, 14 universities used the title of construction management. Related to this title, project management is included in the education plan of 12 universities, construction management 8, civil engineering project management 5, construction management and building construction technique 4. In addition to these,

construction project management (3), Construction management and administration (2), Construction engineering and management (2), Construction engineering and administration (1), Construction management and building construction technique (1), Project management in engineering (1), Construction management and investment analysis (1), Project management and feasibility study (1), Construction project management (1), Construction management application (1), Construction engineering management (1), Project management and planning (1) are other courses taught in universities and related to construction management .

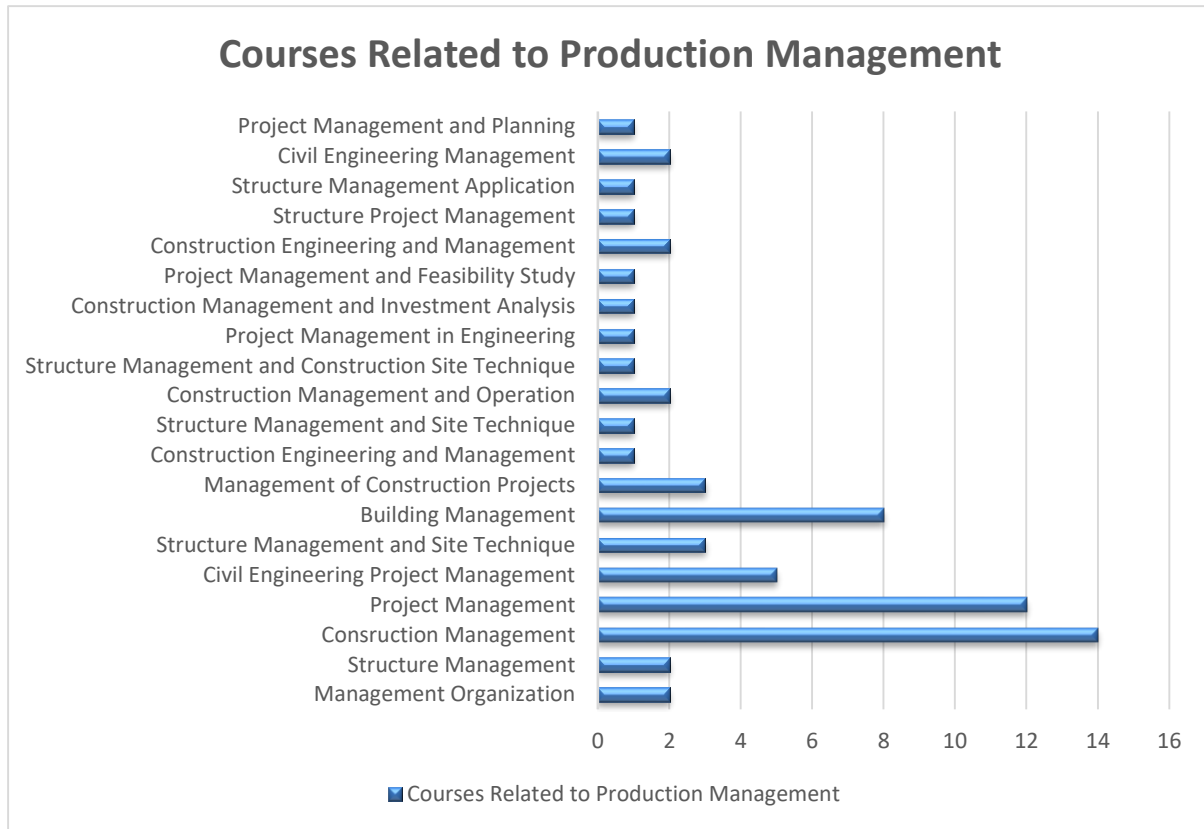


Figure 1. Courses related to Construction Management

2.2. Assessment of Construction Management Courses on Credit and ECTS Basis

Within the scope of the thesis study, the credits and ECTS of the Construction Management course and other related courses in Türkiye are given in Table 2. When the table is analyzed in terms of credits/AKTS, the highest number of credits/AKTS belongs to 3/5 with 18. In other words, in 18 universities, courses related to construction management are provided as 3 credits and 5 ECTS. In the second place, 3/4 is implemented in 12 universities, and in the third place, 3/3 is implemented in 6 universities. 2/3 is included in the education plan in 5 universities, 3/6 in 4 universities, 2/4 in 3 universities and 4/5 in 2 universities. In addition, a total of 8 universities use 2/5, 3/7, 2.5/4, 4/4, 4/6, 2.5/3, 3/2 and 3.5/5 implementations, one each. In addition, the education plans of 3 universities could not be accessed from the university websites.

Table 2. Credit/ECTS status at universities in Türkiye

Universities	Course Title	Credit	ECTS
Akdeniz University	Management Organization	2	3
Antalya Bilim University	Building management	3	5
Atatürk University	Construction Management	3	4
Aydın Adnan Menderes University	Construction Management	2	5
Bahçeşehir University	Project Management	3	7

Balıkesir University	Construction Management	2.5	4
Başkent University	Construction Engineering And Management	3	5
Bayburt University	Building Management and Building Construction Technique	2	4
Bilecik Şeyh Edebali University	Building Management and Building Construction Technique	3	5
Bingöl University	Construction Engineering Project Management	3	5
Bitlis Eren University	Project Management	3	5
Bursa Technical University	Construction Management	4	4
Bursa Uludağ University	Construction Management	4	6
Çanakkale 18 Mart	Project Management	3	5
Çankaya University	Construction Engineering Project Management	3	4
Çukurova University	Project Management	3	5
Dokuz Eylül University	Building management	2	3
Düzce University	Construction Management	3	3
Erciyes University	Construction Project Management	3	3
Erzincan Binali Yıldırım University	Project Management	2	3
Erzurum Technical University	Construction Engineering And Management	3	4
Eskişehir Osmangazi University	Building Management and Building Construction Technique	3	6
F. S. M. Vakıf University	Construction Engineering And Management	3	5
Fırat University	Construction Management	3	5
Giresun University	Building Management and Building Construction Technique	2	4
Hacettepe University	Construction Management	None	None
Hakkari University	*Building Management and Building Construction Technique	3	5
	*Management and Organization	3	3
Harran University	Construction Management	2.5	3
Isparta University of Applied Sciences	Construction Engineering And Building Management	3	3
İnönü University	Construction Management	3	6
İskenderun Technical University	Construction Management	3	4
İstanbul Aydın University	Project Management	3	5
İstanbul Beykent University	Project Management	2	4
İstanbul Bilgi University	Construction Management and Investment Analysis	4	5
İstanbul Gelişim University	Construction Management	3	6

İstanbul Medeniyet University	Project Management and Feasibility Study	3	4
İstanbul Okan University	Construction Engineering And Management	3	5
Istanbul Commerce University	Construction and Project Management	3	3
Istanbul University-Cerrahpaşa	Project and Construction Management	3	4
İstinye University	Construction Project Management	4	5
İzmir Kâtip Çelebi University	Building Project Management	3	6
İzmir Institute of Technology	Building Engineering Management	3	5
Karamanoğlu Mehmetbey University	Construction Management	3	4
Kastamonu University	Construction Management	3	4
Kırklareli University	Project Management	3	4
Konya Technical University	Building Management Application	3	3
KTO Karatay University	Construction Management	3	2
Malatya Turgut Özal University	Construction Management	3	4
Marmara University	Construction Engineering And Management	None	None
MEF University	Construction Management	3	5
Muğla Sıtkı Koçman University	Project Management	3	5
Munzur University	Project Management	2	3
Nevşehir Hacı Bektaş Veli University	Construction Management	2	3
METU	Construction Engineering And Management	3	5
Osmaniye Korkutata University	Construction Management	3	4
TED University	Construction Engineering And Management	3	5
Tekirdağ Namık Kemal University	Construction Management	3.5	5
Yalova University	Project Management and Planning	3	5
Yeditepe University	Construction Management	None	None
Zonguldak Bülent Ecevit University	Project Management	3	4

2.3. Titles of Construction Management Courses in TRNC

Within the scope of the thesis study, 9 of 21 universities in TRNC have civil engineering programs. The 8-semester education plans of these universities have been analyzed and it has been seen that 7 universities have courses related to Construction Management. Table 3 shows the titles and course status of the courses and Figure 2 shows the title and number of courses.

Table 3. Course title and status

Universities	Course Title	Course Status
Eastern Mediterranean University	Construction Management	Compulsory
University of Kyrenia	Construction Engineering And Management	Compulsory
Girne American University	Construction Engineering And Management	Compulsory
European University of Lefke	Construction Management	Compulsory
Cyprus International University	Building management	Compulsory
	Project Management	Compulsory
Near East University	Construction Engineering And Management	Compulsory
Bahçeşehir Cyprus University	Project Management	Elective

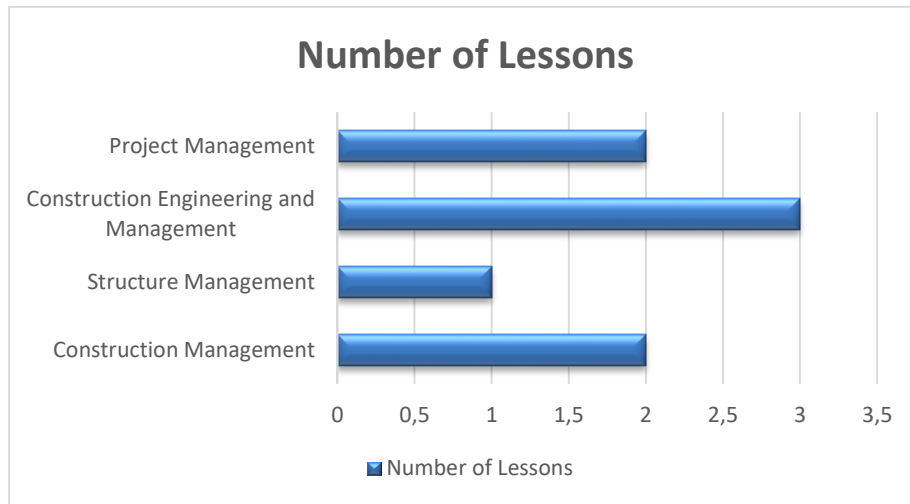


Figure 2. Courses and numbers

When the Table and Figure are analyzed, it is seen that the most used title is Construction Engineering and Management (3). The ranking continues as Project Management (2), Construction Management (2) and Building Management (1).

2.4. Assessment of Construction Management Courses on Credit and ECTS Basis

There are a total of 21 universities in the TRNC. Of these universities, 9 have civil engineering programs and 7 have construction management and related courses (Table 4). The courses in the table are given as Credit/AKTS.

Among the universities in TRNC, 2 of them implemented 4/6, 2 of them implemented 3/3, 1 of them implemented 4/4, and 1 of them implemented 3/7 in their education plans. In addition, Cyprus International University has planned the Construction Management course as 4/6 and the Project Management course as 3/4.

Table 4. Credit/ECTS status at universities in TRNC

Universities		Credit	ECTS
Eastern Mediterranean University	Construction Management	4	6
University of Kyrenia	Construction Engineering And Management	4	4

Girne American University	Construction Engineering And Management	3	3
European University of Lefke	Construction Management	3	3
Cyprus International University	Building management	4	6
	Project Management	3	4
Near East University	Construction Engineering And Management	4	6
Bahçeşehir Cyprus University	Project Management	3	7

3. COMPARISON OF CONSTRUCTION MANAGEMENT COURSES AND THEIR CONTENTS IN UNDERGRADUATE CIVIL ENGINEERING PROGRAM IN TÜRKİYE AND TRNC

A comparison of the universities in Türkiye and TRNC and the Construction Management course and related courses is presented below.

1. Status of construction management and related courses

- In Türkiye, the title of construction management was used the most (in 14 universities). This is followed by project management (12 universities), construction management (8 universities), civil engineering project management (5 universities), construction management and building construction technique (4 universities). In TRNC, it is seen that the title Construction Engineering and Management (3) is used the most. **The ranking continues as Project Management (2), Construction Management (2) and Building Management (1).**
- In Türkiye, construction management and related courses are included in the curriculum as compulsory in 50 universities and as elective in 11 universities. In TRNC, it is compulsory in all universities except Bahçeşehir Cyprus University.
- In Türkiye, when courses are evaluated in terms of credits/ECTS, 3/5 is the most common practice (18 universities), 3/4 is the second most common practice (12 universities), and 3/3 is the third most common practice (6 universities). In the TRNC, 2 universities implement 4/6 and 2 universities implement 3/3.
- Construction management and related courses are usually included in the curriculum in the 7th or 8th semester in both Türkiye and TRNC.

2. Content of construction management and related courses

- In Türkiye, the course titled Construction Management is the most common course in the curriculum. When the content of this course given in 18 universities is analyzed, the following are the content of the course in general terms;
 - ✓ Construction management concepts
 - ✓ Building quantity and unit price formation
 - ✓ Statistical time planning approaches, performance evaluation and review technique, Monte Carlo modeling
 - ✓ Management of construction contracts
 - ✓ Inspection in building production
 - ✓ Work planning in construction management; CPM and PERT methods
 - ✓ Critical Path Method (CPM) - Arrow diagram
 - ✓ Critical Path Method (CPM)-Matrix Method
 - ✓ Construction tender models and preparation of tender documents
 - ✓ Inspection of the construction process in the public and private sector
 - ✓ Human resource management in construction industry
- In the universities in the TRNC, the course was added to the program by using the title of construction management the most. When the content of this course is analyzed, it can be seen that it includes the following topics:
 - ✓ Stages of construction projects within the scope of project management and construction management
 - ✓ Pre and post tender design in construction projects,
 - ✓ Quantity, cost calculation and preparation of tender documents
 - ✓ Resource management, contracts, project planning, organization charts
 - ✓ Tender types.

The content of this course in the two countries is 80% similar. However, CPM and PERT methods used in work planning in construction management are not included in the course content under the title of Construction Management in TRNC universities. All universities have emphasized cost analysis in this course. Inspection and human resources management are among the main topics included in the content. Unlike the course in Türkiye, construction management course in TRNC is focused more on construction project stages and organization chart.

- Another course in Türkiye is project management. When the content of this course given in 12 universities is analyzed;
 - ✓ Project Assessment
 - ✓ Project Organizational Structures
 - ✓ Project scope, schedule and cost management
 - ✓ Human resources management
 - ✓ Communication management
 - ✓ Risk Management
 - ✓ Supply management
 - ✓ Cost and time based project planning; planning methods; Gantt and bar diagrams, Networks, (CPM and PERT)
 - ✓ Arrow and priority systems
- Another course that is included in the education program at TRNC universities is the project management. When the content of this course is analyzed, it can be seen that it includes the following topics:
 - ✓ Project integration management
 - ✓ Project scope management
 - ✓ Project communication management and teamwork
 - ✓ Health and safety
 - ✓ Environmental management
 - ✓ Risk management and sustainability
 - ✓ Entrepreneurship and feasibility report

It is seen that this course in the two countries is 75% similar to each other. In Türkiye, unlike TRNC, CPM and PERT methods, supply management and cost analysis are also included. The topics that are different in the TRNC are environmental management, entrepreneurship and feasibility.

- The last course compared in Türkiye is construction engineering and management. This course is available at Okan University, Başkent University and TED University in Türkiye. This course, which private universities add to their curriculum, is one of the most preferred course titles in the TRNC. When the content of this course is analyzed, it can be seen that it includes the following topics:
 - ✓ Construction Management Fundamentals
 - ✓ Construction Cost Estimation and Bidding
 - ✓ Contract types and project delivery methods
 - ✓ Planning, scheduling, CPM and cost estimation
 - ✓ Construction risks and construction project management
 - ✓ Finance and business plan in construction projects
 - ✓ Financial control and accounting of businesses
 - ✓ Project cost control
 - ✓ Equipment organization.
- When the content of the construction engineering and management course, which is included in the education in 3 universities in TRNC, is examined, it is seen that it covers the following subjects;
 - ✓ Engineering fundamentals
 - ✓ Construction machinery
 - ✓ Construction work tools, description, types, selection, assessment of their efficiency
 - ✓ Construction labor law, general specifications for common works, labor rights
 - ✓ General profile of the construction building sector, company and land organization
 - ✓ Preparation of work schedules
 - ✓ Ensuring work and worker safety
 - ✓ Assessment of human rights and relations
 - ✓ Quantity calculations

It is seen that the contents of this course, which is given in universities in Türkiye and TRNC, do not correspond to each other except for the cost issue. In universities in Türkiye, planning, control and organization topics were mostly preferred. In the TRNC, topics such as work and worker safety, construction machinery, and work

schedules were addressed.

4. RESULT AND RECOMMENDATIONS

The development of technology, the improvement of the economy and the updating of needs lead to the formation and development of different fields in the field of construction. One of these fields is construction management. In the literature studies, construction management is generally included in postgraduate education. In this study, the status of undergraduate civil engineering programs of all universities in Türkiye and TRNC and the course contents of construction management and related courses included in the curriculum of these programs were examined. The results obtained are itemized.

- It has been determined that construction management and related courses are included in the education plan of 61 universities in Türkiye, while this number is 7 (Seven) in TRNC.
- When the course titles are analyzed, construction management is the most common title in Türkiye, while construction engineering and management is the most common title in TRNC.
- When the course contents were analyzed, it was seen that the course contents of the courses included in the education plan in Türkiye and TRNC were mostly similar.
- When the credit/ECTS system was examined, it was seen that the 3/5 was widely used.
- Construction management and related courses in universities should be included in the curriculum of more universities.
- Construction management and related courses should be changed from elective courses to compulsory courses.
- Construction management and related courses should be included not only in the civil engineering program but also in the curriculum of all disciplines related to the construction sector.
- Construction management should not only be limited to undergraduate education, but postgraduate education should also be enhanced.

REFERENCES

- Oladinrin T.O., Ogunsemi D.R., Aje I.O. Role of Construction Sector in Economic Growth. Empirical Evidence from Nigeria, African journal online,2012; 7(1): 50-60.
- Wells J. The role of construction in economic growth and development. Habitat International, 1985; 9: 55–70.
- İNTEŞ, Construction Sector, Its Problems and Solution Suggestions. Ankara: Turkish Construction Industrialists Employers' Union, 2013.
- Aydın M. Comparative Evaluation of Project and Construction Management Master's Programs in Turkey and TRNC, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology Master Thesis, paper page: 57, İstanbul, Türkiye, 2014.
- Daşdelen A. Construction Law in Construction Management Education, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology Master Thesis, sayfa no:13, İstanbul, Türkiye, 2006.
- Ahuja V., Yang J., Shankar R. Benchmarking framework to measure extent of ICT adoption for building project management, Journal of construction engineering and management, 2010; 136(5): 1-15.
- Lam P., Wong F., Tse K. Effectiveness of ICT for construction information exchange among multidisciplinary project teams, Journal of computing in civil engineering, 2010; 24: 365–376.
- Martínez-rojas M., Marín N., Vila M.A. The Role of Information Technologies to Address, Data handling in construction project management, 2016; 30: 1–20.
- Sardroud J.M. Perceptions of automated data collection technology use in the construction industry. Journal of computing in civil engineering, 2015; 21: 54–66.
- Parsamehr M., Perera U.S., Dodanwala T.C., Perere P., Ruparathna R. A review of construction management challenges and BIM-based solutions: perspectives from the schedule, cost, quality, and safety management, Asian journal of civil engineering, 2023; (2023) 24: 353–389.

- Doloi H. Cost Overruns and Failure in Project Management: Understanding the Roles of Key Stakeholders in Construction Projects. *Journal of construction engineering and management*, 2013; 139(3): 1-13.
- Khademi S.S. Time Over run Analysis in North Cyprus Building Construction Projects, 2014.
- Memon A.H., Rahman I., Razaki M., Asmi A., Aziz A. Time Overrun in Construction Projects from the Perspective of Project Management Consultant (PMC). *Journal of surveying, construction and property*, 2011; 2: 54–66.
- Kesim K., Evaluation of Construction Management Education in Architecture Undergraduate Programs, İstanbul Kültür University Institute of Science and Technology, Master Thesis, paper page. 25, İstanbul, Türkiye, 2018.
- Cengiz AE. Using Geographic Information Systems (GIS) in Building Management, Anadolu University Institute of Science and Technology, Master Thesis, paper page. 12, Eskişehir, Türkiye, 2012.
- Cengiz A.E., Çabuk A., Aytekin O., Özdemir İ. A Research on GIS and BBM Integration in Construction Management, 4th Project and Construction Management Congress, 3-5 November 2016 Anadolu University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Eskişehir. 2016
- Cengiz A.E., Güney Y. Geographic Information Systems (GIS) Applications in the Management of Construction Projects, *Electronic Journal of Map Technologies*, 2011; 3(2): 38-52.
- Ünver H., Alptekin O. Evaluation of Construction Management Process in Street Improvement, *Journal of Contemporary Local Governments*, 2021; 30(1): 99-126.
- Keleş M.K. Keleş A.E. The Place of Data Mining Applications and Heuristic Optimization Algorithms in Construction Management, *Çukurova University Journal of Engineering and Architecture Faculty*, 2017; 32(1): 235-242.
- Yitmen İ., Dikbaş A. Web-based integrated construction management system model, *itümagazine/a architecture, planning, design*, 2002; 1(1): 30-41.
- Ertekin S.S. Web Based Production Management System Model Proposal for Corporate Design Implementation Process, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, paper page. 82, İstanbul, Türkiye, 2008.
- Demirdöven JB., Artiti D. Nanotechnology Applications in Buildings and Construction Management, 2nd Project and Construction Management Congress, 13 – 16 September 2012, İzmir Institute of Technology, Urla-İzmir, 2012.
- Runeson G. Educational Needs of Construction Managemnt Personnel. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB15501.pdf>. Erişim Tarihi: 19 Aralık 2022.
- Kuruoğlu M., Ezcan, V. 2018, Is Construction Project Management in the Right Place in Turkey? <http://murat.kuruoglu.com.te/MURKUR/documan/pdf/insaat%20proje%20yönetimi%20dogru%20yerdemi.pdf>. Access Date: November 24, 2022.
- Sorguç D. Construction Management Lecture Note II. (İstanbul: ITU Printing House, 1993).
- Berköz S., Kanoğlu A. Production Management Education in Turkey. Turkish Civil Engineering 12th Technical Congress, 313-337, 1993.
- Arioğlu Ü., Günay G., Erkut H., Uygur M. Organizational Building Models in Construction Companies. XI. Civil Engineering Technical Congress, 763-776, İstanbul: ITU, 1991.

Kauçuk Katkılı Modifiye Bitüm Kullanılarak Mastik Asfalt Uygulaması
Application of Mastic Asphalt Using Rubber Added Modified Bitumen

Salih ALUÇ, Adem AHISKALI

Kastamonu Üniversitesi , Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Doi: 10.51764/smutgd.1049296

Geliş Tarihi :27.12.2021
Kabul Tarihi :23.03.2023

ÖZET

Ulaşım, insanların ticari metaların ve eşyaların belirli bir konumdan başka bir konuma taşınmasıdır. Türkiye’de birçok ulaşım sistemi bulunmakla birlikte karayolu ulaşımı, ulaşım sisteminin %95’lik kısmını teşkil etmesi nedeni ile önemli bir yere sahiptir. Karayolu, taban zemini üzerine esnek ve rijit olarak inşa edilen, araçların hızlı, güvenli ve konforlu geçişine olanak veren yapılardır. Düzenli bir dağılıma sahip bir karayolu ağı, ülkelerin kalkınmasında önemli bir unsur haline gelmiştir. Güçlü ve konforlu bir karayolu ağı, enerji kaynaklarına kolay ulaşılmasını, üretilen ürünlerin hızlı ve zamanında yerine teslim edilmesini ve zamandan tasarruf edilmesini sağlar. Günümüzde inşa edilen yolların, talepleri karşılayacak şekilde sağlam, konforlu ve uzun ömürlü olabilmesi için karayolu yapımında bağlayıcı olarak kullanılan bitümün, bu ihtiyacı karşılayacak nitelikte olması gerekmektedir. Bu gereklilikler göz önüne alınarak bitüme çeşitli modifikasyonlar uygulanması yoluyla, bitümün özelliklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda daha ekonomik alternatiflerin oluşturulması, araştırmacılar için hedef haline gelmiştir. Özellikle polimer modifikasyon’lu katkıları sayesinde işlenebilirlik özelliği, performansa katkı sağlayabilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada değişik oranlarda kauçuk katkı malzemesi, modifiye bitüm ve mastik asfalt uygulamaları ele alınmıştır. Günümüzde, yüksek kaliteli aşınma tabakası olarak SMA (Taş Mastik Asfalt) tabakası kullanılmaktadır. Bu tabaka; Genellikle %70–80 kaba agrega, %20–30 ince agrega ve %6–8 gibi oldukça yüksek bir asfalt türü ve kesikli bir granülometriye sahip (agregalar arası boşluk miktarı yüksek) karışımlardan elde edilir. Kısaca SMA olarak bilinen bu tabakalar, kalıcı hasarlara ve aşınmaya karşı daha dirençlidir. Ayrıca daha kaliteli, daha homojen ve geçirimsiz olma gibi, özellikleri sebebiyle öne çıkmaktadır. Herhangi bir projenin başarısı, projelerde etkin maliyet kontrolünü kolaylaştıracak gelişmiş miktar, maliyet ve süre tahmin teknikleri ile tanımlanır.

Anahtar Kelimeler: Mastik asfalt, Mekanik özellikler, Kauçuk katkı, Modifiye bitüm, Kauçuk modifiye asfalt, Asfalt karışımı.

ABSTRACT

Transportation is the movement of people and goods from one place to another place. Besides there are many transportation systems in our country, road transportation has the most important place and has a share of 95 percent. Highways are structures that are built flexibly and rigidly on the ground floor and allow fast, safe and comfortable passage of vehicles. A road network that has an orderly distribution has become an important element in the development of countries. Because a strong and comfortable road network provides easy access to energy resources, fast and timely delivery of the products produced and saving time. Today, it is obvious that many studies need to be done in bitumen by adding various additives to bitumen in order to make the roads built more comfortable and durable. While polymer modification is now being applied effectively, it comes up to the agenda that it will provide better compaction and economic contributions by increasing the processability properties. Thanks to such additives, the workability feature can contribute to performance. In this study, different proportions of rubber additives, modified bitumen and mastic asphalt applications were discussed. Today, SMA (Stone, Mastic, Asphalt) layer is used as a high quality wear layer. SMA layers, which are generally obtained from mixtures of 70 - 80% coarse aggregate, 20 - 30% fine aggregate and 6 - 8% asphalt type (high amount of space between aggregates) stands out due to its features such as being more resistant to permanent damage and abrasion, higher quality and being more homogeneous and impermeable. any project success is defined by techniques improved quantity to facilitate effective cost control, cost and time estimation.

Keywords: Mastic asphalt, Mechanical properties, Rubber added, Modified bitumen, Rubber modified asphalt, Asphalt codes

Salih ALUÇ, Orcid: 0000-0002-5229-0439, salih_1734@hotmail.com

Adem AHISKALI, Orcid: 0000-0002-1265-7312, ahiskali@kastamonu.edu.tr

1. GİRİŞ

Ulaşım sistemleri, ekonomik, sosyal, politik ve kültürel kalkınmanın sağlanması açısından en önemli altyapı yatırımdır. Türkiye'de son beş yılda yapılan ulaşım yatırımları sayesinde asfalt yol uzunluğu giderek katlanıyor. Günümüzde hız olarak artan araç sayısı ve trafik yoğunluğu yolların tahrip olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle asfalt yolların uzunluğunun artırılması ve eski beton asfalt yollarımızın onarımı ve bakımı önemlidir. (O, X, Z, & H, 2018).

Karayolu, araçların hızlı, güvenli ve konforlu geçişini sağlayan zemin tabanına esnek ve sağlam bir şekilde inşa edilmiştir. Düzenli bir dağılıma sahip olan karayolu ağı ülkelerin kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Çünkü güçlü ve konforlu bir yol ağı, enerji kaynaklarına kolay erişim sağlar ve ürünler hızlı ve gerekli sürede teslim edilir. Aynı zamanda zaman kazandırır. Türkiye'de son beş yılda asfalt üretimi ortalama 40 milyon tona ulaşmıştır. Bu nedenle 2011 yılı itibarıyla Avrupa'da asfalt üretiminde ikinci sırada yer almıştır. (Torun, 2015). Bu rakamlar son beş yılda ortalama 38 milyon ton ile üretilmeye devam etmiştir.

Bu çalışmada bugüne kadar yapılan deneysel çalışmaların aksine kauçuk katkıli modifiye bitüm kullanılarak mastik asfaltın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilecek sonuçlara göre üretilecek mastik asfalt tipinin uzun ömür, ekonomi ve kullanım kolaylığı açısından önemli olacağı düşünülmektedir. Asfalt üretiminde kullanılan katkı malzemelerinin kullanım yöntemleri iki türlü yapılmaktadır. Birinci yöntem, katkı maddesini bitüm içerisine eklenerek 'modifiye bitüm' elde edilmesidir. İkinci yöntem ise katkı maddesi asfalt platininin doğrudan doğruya karışıma eklenerek, 'modifiye karışım' elde edilmesidir. Dünya da ve Türkiye'de giderek yoğunlaşan trafik, yoğun ağır taşıtların asfalt kaplama yüzeyinde oluşturduğu hasarlar, bozulmalar, tekerlek izleri ve değişen iklim koşulları da eklendiğinde sıcak asfalt kaplamaları daha dayanıklı olmasını sağlamak için değişik çözümler gündeme gelmiştir. Bu çözümler içerisinde Modifiyeli Asfalt kullanımı çare olarak öne çıkmaktadır. Modifiye edici katkı maddelerinin kullanım amacı, bitümlü bağlayıcı ve karışımların davranışlarının iyileştirilmesidir. (Ceylan, 2006) Kauçuk modifiyeli asfalt (RMA), harmanlanmış agregalar, geri dönüştürülmüş kauçuğu ve bitümden oluşan bir bitümlü karışım olmaktadır. Kauçuk yapının elastik özelliği nedeniyle en önemli faktördür. (Karacasu, 2015) Kırıntı kauçuk ve bitümün harmanlanmasıyla hazırlanan asfalt kauçuğunun (AR), üstün yol tutuş direnci, daha düşük yol lastiği gürültüsü ve daha uzun servis ömrü gibi geleneksel asfalt bağlayıcıya kıyasla çeşitli avantajlar sağlamaktadır. (İmamoğlu, 2012)

2. MALZEME-YÖNTEM

Türk Dil Kurumu'na (TDK) göre asfalt, "siyah, şekilsiz bitüm veya ana maddesi katran olan ve yol döşemesi için kullanılan karışım" olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, , 2018). Asfalt beton üretiminden uygulama süreçlerine kadar iyi planlama, araştırma ve düzenli çalışma gerektiren yol yapımında kullanılan bir yapı malzemesidir (Büyüksaraçoğlu, 2009).

Dünyanın birçok ülkesinde asfalt karışımı, kaliteli yolların yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. yüksek performanslı asfalt karışım yollarının %90'ı İngiltere ve Çin'de görülmektedir. Asfalt karışımının gündemde ve güncel olmasının nedeni iyi bir performansa sahip olmasıdır (Zhang, 2018).

2.1 Malzeme

2.1.1 Agregalar

Agrega, asfalt üretimi ve yol yapımının ana maddesi olarak kullanılır. Büyüklük ve ağırlık bakımından üst yapının önemli bir parçasını oluşturan agregalar, yoldaki yük ağırlıklarının yarattığı gerilmeleri karşılamaktadır (Avcı, 2009). Yol yapımında önemli bir yere sahip olan agregalar iki grupta incelenir: doğal agregalar ve yapay agregalar (Büyüksaraçoğlu, 2009). Agregaları üç başlık altında inceleyebiliriz; 2.36 mm elek üzerinde kalan kaba agrega, 2.36 mm elekten geçen ve 0.075 mm elek üzerinde kalan agregalara ise ince agrega, un kıvamında ve daha çok ince olan malzemeler ise mineral filler olarak adlandırılır. Çalışmada yapılan elek analizi için kullanılan elekler şekil 2.1 de yer almaktadır



Şekil 2.1 Elek analizi ve elekleri

2.1.1.1 Doğal Agregalar

Doğal agregalar oluşum şekillerine göre doğal kayalardan ve fiziksel ayrışmalar sonucunda meydana gelir. Doğal agregalar, kayaların doğal etkilerle ya da istenilen boyutlarda parçalanması sonucu, karayolu yapımında kırma taş şeklinde kullanılabilir (Büyüksaraçoğlu, 2009). Agregalar genel olarak yapı sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir (A.Çağlar, Çağlar, Sağlam, Çitoğlu, & Bayraktar, 2017).

2.1.1.2 Yapay Agregalar

Elde edilen bu tür agregalar endüstriyel olarak işleminden geçtikten sonra kullanılan agrega türleridir. İşleminden geçen bu tür agregaları cüruf, klinker ve çimento olarak ayrı ayrı başlık altında inceleyebiliriz. Yapay agregalar yüksek fırın ısısında sanayi ürünü olarak ince taneli ve iri taneli olarak oluşturulmaktadır. Tane büyüklüğü olarak bakıldığında 4 mm altında olan agregalar için ince agrega 4 mm üstünde olanlar için ise iri taneli agrega sınıfına girmektedir.

Tablo 2.1 Yol ve agrega grupları (M.İlcalı, 2001)

YOL AGREGA GRUPLARI (İSFALT)			
BAZALT GRUBU		KUM TAŞI GRUBU	
Andezit	Mag. Nöt F	Aglomera	To.
Bazalt	Mag. Baz F	Arkoz	To.Si
Bazik Portifirit	Mag.Nöt M	Bres	To.
Diyabaz	Mag.Baz M	Konglemera	To.
Dolerit	Mag.Baz M	Grovak	To.Si
Epidiyorit	To B	İnce Çakıl	To.Si
Hornblendsist	To B	Kumtaşı	To.Si
Lamprofir	Mag. Baz	Tüf	To.
Kuvartz-dolerit	Mag Baz M	HORNFELS GRUBU	
Silipit	Mag.Baz F	Mermer hariç bütün basınç sonucu	
Teserit	Mag. Baz	Değişmiş kayalar	Met.Ter.

Teralit ÇAKMAK TAŞ GRUBU Silistaşı (cert) Çakmaktaşı GABRO GRUBU Diyorit Grayn Gabro Norit Peridorit Pikrit Serpantin GRANİT GRUBU Gnays Granit Granodiyorit Granülier Kuvartz – diyorit Siyerit ŞİST GRUBU Filit Şist Kaynak ardovaz	Mag. Baz To Si To Si Mag. OrC Met.B Mag. Baz.C Mag. Baz.C Mag. Ü Mag. Ü Met. B Mag.As.C Mag. As.C Mag. Or.C Mag. Or. C Met. B Met.B Met.B	KİREÇ TAŞI GRUBU Dolomit Kireçtaşı Mermer PORFİR GRUBU Aplit Dasit Felsit Granotir Keratofir Mikrogranit Porfir Kuvartz- porfirit Riyolit Trakit KUARSİT GRUBU Garister Kuvarsitik kumtaşı Yeniden kristallenmiş Kuvarsit	To.Kal To.Kal Met. Ter Mag.As.F. Mag.As.M. Mag.Or.M Mag.Or.F Mag.As.M. Mag.Or.M. Mag. Or. M Mag. As. F To. Si Met. Ter.
Mag= Magnetik To= Tortul Met= Metamorfik As= Asit Or= Orta	Baz= Bazik U= Ultamafik Kal= Kalkerli Si= Silisli C=İri dokulu	M= Orta dokulu F= İnce dokulu Ter= Termik B= Bölgesel	

2.1.2 Bitümlü Konektörler

Asfalt, güçlü bir bağlanma özelliğine sahip katı ve yarı katı da dahil olmak üzere sıvı halde bulunabilen hidrokarbon yapılı bir malzemedir. Doğal olarak göllerden ve kayalardan olmasının yanı sıra, ham petrolün rafine edilmesi sonucu da üretilebilir (Büyüksaraçoğlu, 2009).

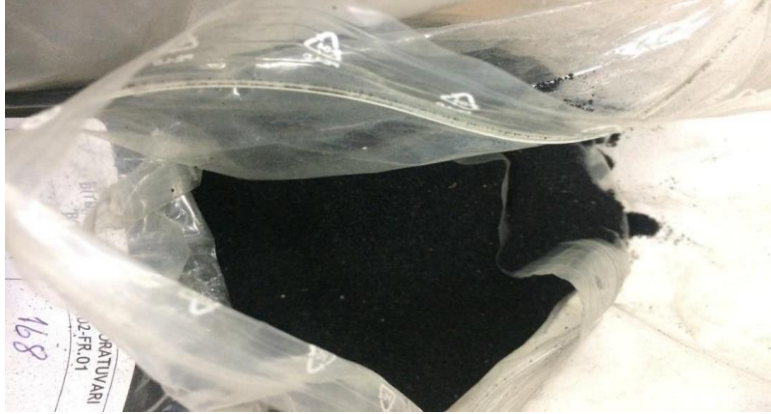
2.1.3 Katkı Maddeleri

Asfalt üretiminde kullanılan katkı maddelerinin kullanım yöntemleri iki tipte yapılmaktadır. Birinci yöntem, katkı maddesini bitüme ekleyerek 'modifiye bitüm' elde etmektir. İkinci yöntem, katkı maddesi asfalt platinini doğrudan karışıma eklemek ve bunun sonucunda 'değiştirilmiş bir karışım elde etmektir. Modifiye bitüm, daha çok asfalt çimentosunun özelliklerini artırarak ve ısı duyarlılığını azaltarak elde edilen bitümlü bağlayıcılar olarak bilinir. Hazırlanacak modifiye bitümün depolanması ve taşınması gibi sorunlar olduğu için genellikle ek ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. Karışım modifikasyonunda, katkı maddesi olan asfalt tesisi doğrudan bitüm karışımına ilave edilebildiğinden ilave karıştırma malzemesine ihtiyaç duyulmaz, ancak depolama ve taşıma gibi sorunlarla karşılaşılır. Bu durumda, modifiye bitümün karışımdan uzaklaştırılmasıyla özelliklerin belirlenmesinin ve değerlendirilmesinin uygun olmadığı görülmektedir (Büyüksaraçoğlu, 2009).

2.1.4 Kauçuk

Kauçuk modifiyeli asfalt (RMA), harmanlanmış agregalar, geri dönüştürülmüş kauçuğu ve bitümden oluşan bir bitümlü karışım olmaktadır. Kauçuk yapının elastik özelliği nedeniyle en önemli faktördür (Karacasu, 2015). Kırıntılı kauçuk, tanecikli bir yapıya sahiptir. Kırıntılı kauçuğun genel kuvveti arttırmakta ve yüzey alanını

azaltmaktadır. RMA'nın düşük ve yüksek sıcaklıklarda bile kullanım ömrü üç kat daha uzundur. Kauçuğun hem karayollarında hem de demiryollarında kullanımının geleneksel asfalta göre daha avantajlıdır (Karacasu, 2015). Asfalt üretiminde kullanılan geri dönüşümü sağlanmış kauçuk malzeme şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Geri dönüşüm ile elde edilen kauçuk katkı malzemesi

2.2 Yöntem

2.2.1 Bitüm Deneyleri

A. Penetrasyon deneyi

Penetrasyon değeri, standart bir iğnenin bir yük altında ve belirli bir süre içinde bitüm numunesine dikey olarak batacağı mesafedir. Penetrasyon deneyi TS EN 1426 “Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Penetrasyon Derinliği Deneyi” deney standardına göre yapılır. Penetrasyon değeri tutarlılıkla ters orantılıdır ve penetrasyon arttıkça bitüm yumuşar. Penetrasyon değeri tutarlılıkla ters orantılı olmasına rağmen, penetrasyon değerindeki artış bitümün yumuşamasını gösterir.

B. Parlama Noktası Deneyi

Bitümün tehlikeli bir şekilde ısıtılacağı sıcaklığı belirlemek için parlama noktasının belirlenmesi gerekir. Parlama noktası, ısıtılmış bitüm buharının alevle temas halinde geçici olarak parladığı, ancak yanmaya başladığı en düşük sıcaklıktır. Bu deney, üretim sırasında bitümün yanmadan hangi sıcaklığa kadar güvenli bir şekilde ısıtılacağıni belirlemek için yapılır. Bitümün parlama noktası genellikle Cleveland Açık Gemi yöntemi ile tespit edilir. Deney TSE EN ISO 2592 standardına dayanmaktadır.

C. Yumuşama noktası deneyi

Yumuşama noktası, belirlenen deney koşulları altında bitüm numunesinin belirli bir yumuşaklık değerine ulaştığı sıcaklık idi. Yumuşama noktası deneyi TS EN 1427 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Yöntemi” deney standartlarına göre gerçekleştirilir.

Bitümlü bağlayıcının akmaya başladığı sıcaklığı, yani sıcaklığa duyarlılığını ölçmek için halka-bilye yöntemi kullanılarak yumuşama noktası adı verilen sıcaklığın belirlenmesidir.

D. Elastik Geri Tepme Deneyi

Bu deney TS EN 13398 standardına dayanmaktadır. Deneyde, bitümün elastik geri dönüşü ve geri dönen elastik deformasyon, bir süneklik aleti kullanılarak istenen sıcaklıkta (25 °C) belirlenir. Modifiye bitüm üzerinde yapılan

bu deneyde deney kaplarına dökülen sıcak bitüm 2-3 saat ortam sıcaklığında tutulur. Tuttuktan sonra, kalıp üzerindeki fazla bitüm bir spatula yardımıyla çıkarılır. Daha sonra süneklik cihazında 30 dakika boyunca 25 °C suda bekletilir. Bu bekletmeden sonra deney başlar. Deney numunesinin sünekliği cihazdaki sayaçtan 20 cm ye ulaştığında, bitüm tam ortada kesilir. Bu kesme işleminden sonra modifiye bitüm geri tepmeye başlar ve bu işlemi tamamlamak için 30 dakika beklenir. 30 dakika sonunda, bitümün her iki tarafı bir cetvel yardımıyla ölçülür. Aradaki mesafe belirlenir.

E. Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi

Bitüm içeren malzemelerin özgül ağırlığı, deney numunesinin bilinen hacminin 25°C'de, havadaki ağırlığının ve damıtılmış suyun aynı sıcaklıkta ve aynı hacimde, hava parçacıklarından arındırılmış ağırlığının oranıdır (F.Orhan, 2012).

Deney pycnometer, 25°C'de piknometer, damıtılmış su bitümü ile yapılır. Temizlenmiş ve susuz piknometre tartılır ve kaydedilir (A). Daha sonra piknometreye kalibrasyon hattına kadar damıtılmış su ilave edilir ve tartılır (B). Piknometredeki damıtılmış su pycnometer boşaltılır, piknometre tamamen kurutulur, kalibrasyon hattının üçte iki seviyesine bitüm eklenir ve tartılır (C). Son olarak, piknometre kabına kalibrasyon hattına damıtılmış su eklenir ve tartılır (D). Bununla birlikte, damıtılmış su ilave edilirken hava kabarcıklarının giderilmesine özen gösterilmelidir (TS EN 15326 + A1, 2010) (Ömer & Agar, 2017). Bulunan değerler aşağıda verilen formülde yerine yazılır ve bitümün özgül ağırlığı hesaplanır. Formülde, mektubun muhabirleri; A; piknometre ağırlığı (gr), B; pycnometer Kalibrasyon hattına su ile doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (g), C; Kalibrasyon hattının üçte ikisine kadar Bitüm dolu ağırlık (gr), D; Piknometre ağırlığı (g), kalibrasyon hattına su ile doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (g), C; Kalibrasyon hattının üçte ikisine kadar Bitüm dolu ağırlık (gr), D; Piknometre ağırlığı (g), kalibrasyon hattına su ile doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (g), C; Kalibrasyon hattının üçte ikisine göre) bitüm ve damıtılmış su.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{kN}{cm^3} = \frac{C-A}{B-A-(D-C)}$$

F. RTFO (Haddelme İnce Film Fırın Deneyi)

Deney TS EN 14769 standardına göre gerçekleştirilmiştir (TSEN14770, 2012). Yaşlı bitüm üzerinde fiziksel deneyler yapılarak asfalttaki kütle kayıplarının belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Bitüm yaşlandıkça kütle kaybeder, ancak bazı asfaltlarda yaşlanma ile oksitlenmiş ürünlerin oluşması nedeniyle kilo alımı meydana gelir.

G. Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi (P. A. V)

Deney TS EN 14770 standardına dayandırılmıştır (TSEN14770, 2012). Deneyde RTFOT deneyinden çıkan numuneler, her biri 50 gr olan numune kaplarına yerleştirilir. Numune kapları, 10 numune kabı alabilen rafli bir numune taşıyıcısına yerleştirilir. Daha sonra basınçlı bir yaşlanma kabına alınır ve 20 saat boyunca 100°C'de 2.4 MPa basınç altında yaşlandırılır. Bu sayede kaplamanın servis sırasında karşılaşacağı yaşlanma etkileri yansıtılır. Cihaz çalıştırılır ve çelik raf cihaza yerleştirilir ve istenen sıcaklığa (100°C) ulaşana kadar ısıtılır. Çelik raf çıkarılır ve deney numuneleri yerleştirilir, çelik raf numune dolu kaplarla doldurmasa bile boş kaplarla doldurulur. Kuru hava tüpündeki çubuk seviyesi 24 bara ayarlanır ve kapaktaki civatalar birbirine sıkılarak kapatılır. Deney, cihaz 100°C'ye ulaştığında başlatılır. 20 saatlik yaşlanmadan sonra pav'den çıkan numune bir vakum kabına alınır. Numunelerle dolu kap vakum cihazına yerleştirilir ve 15 dakika boyunca 170 °C'de

vakumlamaya tabi tutulur. İçindeki azot gazı numuneyi BBR Kiriş Bükme Reometrisi kalıbına 3 numune olarak dökülür.

H. Kiriş Bükme Reometresi Deneyi (BBR)

Deney TS EN 14771 standardına göre yapılmıştır. BBR, düşük sıcaklıklarda bitümün davranışını belirlemek için yapılır. BBR, bağlayıcının belirli bir sıcaklıkta ve sabit bir yük altında ne kadar sürünme veya sapma geçirdiğini gösterir.

I. Dinamik Kesme Reometrisi (DSR)

Deney TS EN 14770 standardına dayandırılmıştır. Bitümün davranışı hem yükleme süresine hem de sıcaklığa bağlı olduğundan, ideal deney her iki faktörü de içermelidir. Dinamik Kesme Reometrisi ile bitümlü bağlayıcıların reolojik özellikleri (kompleks kesme modülü ve faz açısı) orta ve yüksek sıcaklıklarda zaman içinde belirlenir.

3. BULGULAR

3.1 Penetrasyon Deneyi

Bu çalışmada saf bitüme %8 kauçuk katkısı kullanılarak penetrasyon değerinin düşürülmesi ve bitüm sertliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bu duruma uygun olarak, elastikiyet oranı, verilen katkı maddesinin yüzdesi ile artırılmıştır. Buradaki genel amaç uygulama esnasında esneme özelliğini arttırmak ve trafik yoğunluğundaki rutubetten kaynaklanabilecek deformasyonu önlemektir. Deney sonucunda elde edilen verilerde 38,2 mm saf ve 50 mm derinliğinde olması gereken değer azalmış ve kauçuk katkılı elastik oran sağlanmıştır. Sonuç olarak, Karayolları Teknik Şartnameleri aralığındadır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Penetrasyon deneyi sonucu ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri	
			Min.	Maks.
1	Penetrasyon (25 °C,100g,5sec)	38,2 mm	35 mm	70 mm

Sadece kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilen bitümün, orjinal bitümden daha yüksek penetrasyon değerine sahip olduğu görülmektedir. Kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün penetrasyon değeri artırılarak gerekli bitüm sertliği elde edilmiştir (%8).

Kauçuk katkı maddeleri ile modifiye edilmiş saf bitümde yapılan deneylerde penetrasyon değerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Penetrasyon değerindeki artış, bitümün akışkanlık oranındaki artışı doğrudan etkiler. Yüksek akışkanlığa sahip bitüm, agrega temas yüzeyini tamamen kaplar ve bu sayede bağlanma özelliği artar. Kauçuk katkı oranındaki artışa bağlı olarak penetrasyon değerindeki artış deneylere göre beklenen bir sonuçtur. Kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün yaşlanmış penetrasyon değerinin, saf bitüm penetrasyon değerine kıyasla daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen penetrasyon değerinin Karayolları Teknik şartnamelerinde belirlenen sınır değer aralığında olduğu ve uygulama için sorun teşkil etmeyeceği görülmektedir. Yapılan çalışma şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Penetrasyon deney numunesi hazırlanması ve penetrasyon deney cihazı

3.2 Parlama Noktası

Parlama noktası deneyi, karışımda kullanılan bitüm bağlayıcıyı, ısının etkisi altında tutuşma sıcaklığının belirlenmesi sırasında alınacak önlemlere dahil etmek amacıyla uygulanır. Deney sonucunda elde edilen verilere göre parlama noktasının 280 °C olduğu ve Karayolları Teknik Şartnamelerinde verilen parlama noktası aralığında olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç Tablo 3.2'de verilmiştir. Yangın vb. durumları en aza indirmek için yapılan değişikliğin sonucu. bu, 280 °C ile sonuçlanan kauçuk katkı maddesi ile nakliye sırasında ortaya çıkabilir.

Tablo 3.2. Penetrasyon deneyi sonucu ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
2	Parlama Noktası (°C)	280 °C	220 °C

Parlama noktası deney sonucu incelendiğinde, modifiye bitümün %8 kauçukla ısı duyarlılığı orjinal bitüme göre %1,27 oranında azalmış ve katkı maddesindeki malzemelerle ısı duyarlılığı azaltılmıştır. Bitümün uygulama alanına verilmesi sırasında oluşabilecek riskler nedeniyle yanma, yanıp sönmeye ve yanma özellikleri azalır. Elde edilen sonucun Karayolları Teknik Özellikleri aralığında olduğu ve uygulamada kullanılan bitüme göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Yapılan bu deneyin görseli şekil 3.2 de parlama noktası ve uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Parlama noktası deney cihazı ve numunesi

3.3 Yumuşama Noktası

Saf bitümdeki ani sıcaklık değişiminin etkisi altında değeri arttırmak amacıyla eklediğimiz kauçuk katkı maddesi ile bu değer mevcut sertlikten elastik yapıya dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Deneyden elde edilen yumuşama noktası değeri 57,8 °C olarak belirlenmiş ve bu değer Karayolları Teknik Şartnamelerinde belirtilen minimum değer üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sonuç Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Yumuşama noktası deney sonucu ve özellikleri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
3	Yumuşama Noktası (R/B °C)	57,8 °C	57,8 °C - 55 °C

Kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün yumuşama noktası deney sonucu incelendiğinde, %8 kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün yumuşama deney sonucundaki artışın saf bitüme göre beklendiği gibi daha yüksek olduğu görülmüştür. Deneyin amaçları arasında yer alan ani sıcaklık değişimlerine karşı daha dirençli olduğunun belirlenmesi deney sonuçlarında gösterilmiştir. Deney şekil 3.3'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil 3.3 Yumuşama noktası deney numunesi ve deney cihazı

3.4 Elastik Geri Tepme Deneyi

Kauçuk katkı maddesi ile yoğun trafikte rutting oluşumuna ve trafik yükünün neden olduğu deformasyona karşı karışımdaki bitümün direncinin artırılması hedeflenmektedir. Bitümün elastik oranını belirlemek amacıyla yapılan bu deneyde %8 kauçuk katkısıyla elde edilen modifiye bitüm sonucu aşağıdaki Tablo 3.4'te sunulmuştur. Deney sonucunda elde edilen değer Karayolları Teknik Şartnameleri tarafından belirlenen sınır aralığında olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3.4. Yumuşama noktası deney sonucu ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
4	Elastik Geri Tepme Deneyi (25 °C)	60,2 °C	60 °C

Deney sonucu incelendiğinde, %8 kauçuk katkılı bitümün ağırlıkça kalıcı deformasyonlara karşı direncinin saf bitüme kıyasla daha da arttığı gözlenmiştir. Deforme olmuş deney numunesi deformasyonu emdi ve kalıcı olarak özelliklerine geri döndü. Elastikiyete dayalı bu deneyde, bitümün elastik özelliğinin %8 kauçuk katkısıyla %1,0 oranında arttığı gözlenmiştir.

3.5 Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi

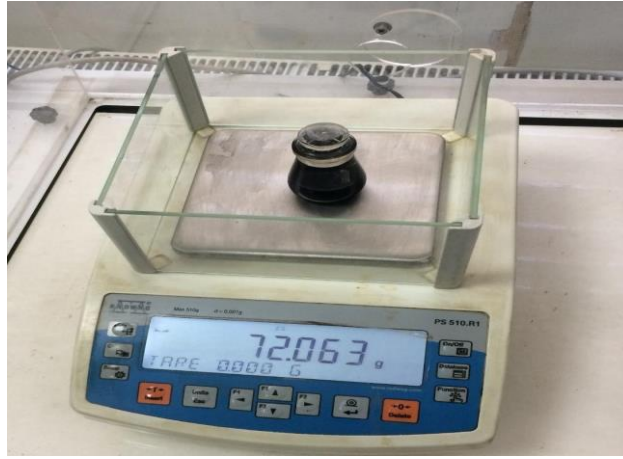
Bitümün özgül ağırlık deneyi TS EN 15326 standardının kurallarına uygun ve esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.5'te, bitüm yapısındaki bileşenlerin 25 °C 'de damıtılmış su ile teması sırasında ölçümlerin sonunda elde edilen modifiye bitüm hacminin damıtılmış suya oranının Karayolları Teknik Şartnamelerinin sınır aralığında olduğu belirtilmiştir.

Tablo 3.5 Bitüm özgül ağırlık deneyi ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri	
			Min.	Maks.
5	Bitüm özgül ağırlık deneyi gr / cm ³	1,031gr/cm ³	1,0gr/cm ³	1,1gr/cm ³

Katkısız saf bitüm ve kauçuk katkılı modifiye bitüm %8 ile kıyaslandığında elde edilen sonuca göre özgül ağırlıkta %1 artış olduğu açıkça görülmektedir. Bunun temel nedeni, katkı maddesi olarak kullanılan kauçuğun ana bileşenlerinden birinin bitüm olmasına rağmen, karıştırma sırasında boşluk oranındaki hafif artışa bağlı olarak özgül ağırlık değerinde bir artış meydana gelmesidir. Sonuç olarak katkı oranı arttıkça özgül ağırlık oranı da katkı oranına bağlı olarak artmaktadır. Deneyde kullanılan malzeme ve tartımı şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Deney numunesi tartımı

3.6 Dinamik Kesme Reometresi (DSR) deneyi

Karıştırma modülleri ve faz açıları, modifiye bitüme 1,59 Hz (10rad/sn) frekansta bitümlü bağlayıcıya 6 °C bir yükselme ile 3 farklı sıcaklıkta belirlendi. Karışık bitümün farklı kullanımı ve farklı sıcaklıklarda $G^* / \sin \delta$ değerlerine karşı etkileri verilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe, karışık bitüm için $G^* / \sin \delta$ değeri azalır ve bu düşüşe bağlı olarak bu değer orta sıcaklıklarda daha yüksektir. Bitümün rutting deformasyonu, 6 °C bir sıcaklık değişiminde kademeli olarak azalır. 1.0 kPa ve 70 °C 'de bitümlü bağlayıcının spesifikasyon sınırını karşılarken, %8 modifiye bitümlü bağlayıcı için 78.5 °C 'de 1kpa'nın altındaki spesifikasyon değerini sağlamıştır. Deney sonucunda bulduğumuz oran 78,5°C olup Karayolları Teknik Şartnamelerinde verilen 70 °C limit değerini sağlar ve kullanıma uygundur. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.6. Dinamik kesme reometrisi deney sonucu ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
6	Dinamik kesme reometresi (DSR) (arıza sıcaklığı °C) ($G \sin \delta < 1$ kPa)	78,5 °C	70 °C

3.7 (RTFO) Haddelme İnce Film Fırın Deneyi

Haddelme ince film fırın deneyi (RTFO), deney numunesinde kullanılan bağlayıcının taşıma, bekleme ve

üretim sırasında kütle kaybını ve kısa süreli yaşlanma özelliklerini ve üretim aşamasından sonraki uygulama süresini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Kauçuk katkılı bitüm numunesinden elde edilen sonuç %0,3 kayıp aralığında ve Karayolları Teknik Şartnamelerinin verdiği değerdedir ve elde edilen sonuca göre numune kullanıma uygundur. Haddeme ince film fırınının deney sonuçları ve spesifikasyon değerleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Haddeme ince film fırın deney sonucu ve spesifikasyon değerleri

Öğ e	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri	
			Min.	Maks.
7	Haddeme ince film çalışması deneyi (ısıtma kaybı) (TS EN 12607-1%)	0,3		0,5
7,1	Isı kaybı sonrası deneyler Yumuşama noktası Penetrasyonu Kalıcı penetrasyon (%) (DSR)(Arıza sıcaklığı °C) (Gsinδ<2.2 kPa)	60 25,7 67,3 81,6	81,6 55 35 50 70	

Rtfo'dan sonra 2 yıl yaşlandığımız numunenin sonucu incelendiğinde, sonucun Gsinδ>2.2 Pa'nın eşitlik sınır değerine göre spesifikasyon değeri olan %1.16'nın üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu değere bağlı olarak, elastik özelliklere ve deformasyona karşı dirence sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 RTFO deney cihazı

3.8 P. A. V ile Modifiye Bitüm Yaşlandırma deneyleri

Üretilen numune, orta ve düşük sıcaklıklarda karışımda kullanılan bağlayıcının kılcal çatlaklarına karşı mukavemet, yorulma ve deformasyonu belirlemek amacıyla B. B. R deneyine tabi tutulur. B. B. R deneyi sayesinde numunenin sertlik ve kırılma özellikleri belirlenir. Karışık bitüm numunesinin deney sonucu, Karayolları Teknik Özellikleri sınırı olan -6 °C -18 °C aralığındadır ve uygulama uygundur. PAV ile yaşlandırılmış modifiye bitüm deney sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8 PAV deney sonuçları ile yaşlandırılmış modifiye bitüm sonuçları

Öge	Deney Adı	Deney Sonuçları	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
8	Dinamik Kesme Reometresi (DSR) (Arıza Sıcaklığı) (Gsinδ<5000 kPa) PAV 81,6 70 sonrası modifiye bitüm deneyleri	81,6	70
8,1	Kiriş Bükme Reometresi (BBR) (S≤300 MPa, m ≤ 0.300) (Arıza sıcaklığı)	— 6-18	-18
8,2	PAV Sonrası DSR (Arıza sıcaklığı)	25,3	25

Çalışmamızda kullanılan modifiye bitüm numunesinin deneysel sonuçlarının Karayolları Teknik Şartnamelerinin (K. T. Ş) kauçuk katkılı modifiye bitüm limitleri aralığında olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın görseli şekil 3.6’ da verilmiştir.



Şekil 3.6 Yaşlandırma deney cihazı açık ve kapalı hali

4. SONUÇ

Modifiye bitüm ile yapılan sıcak karışımların uygulamadaki avantajları göz önünde bulundurularak, bu deneysel çalışmada kauçuk katkılı modifiye bitüm kullanılarak mastik asfalt uygulamasının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma yapmış olduğumuz, kauçuk katkılı modifiye bitüm kullanılarak mastik asfalt uygulaması, geleneksel yöntemlerle yapılan sıcak döküme oranla servis ömrünün 15 ± 2 yıl daha uzun seneler kullanım imkanı sunduğu için geniş açıklıklı çelik köprülerde esneme ve titreşim çok olduğundan dolayı mastik asfalt normal asfalta göre daha esnek ve rijit yapıda olduğu için uzun ömürlü kullanım sağlar. Geniş açıklıklı çelik köprülerde uygulanan sıcak döküm ile serilen asfaltın ömrü iki yıl iken, mastik asfaltta servis ömrü 15 ± 2 yıldır. Sıcak döküm ile yapılan uygulama ile arasındaki servis ömrü açısından tercih sebebi olabilir. Normal serimde $150\text{ }^{\circ}\text{C} - 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değeri arası döküm yapılırken mastik asfaltta sıcaklık $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta serim yapılır. Yüksek sıcaklıkta sıcaklık kaybı olmadan homojen olarak serim yapılması için özel asfalt taşıyıcı cooker isimli özel asfalt taşıyıcı kamyonlar ile plentten cookerlara yüklenen mastik asfalt en az bir saat süre ile homojen hale gelmesi ve uygulama şartlarını sağlaması için cookerlarda işleme tabi tutulur. Bu işlemlerden sonra özel serim finişeri ile tek parça döküm halinde tamamlanır.

Yapılan çalışma sonucunda; bitüm esaslı bağlayıcı kullanılarak modifiye edilmiş bitüm deneylerinden ilki olan penetrasyon deneyi sonucu incelendiğinde; sadece kauçuk katkı modifiye edilmiş bitümün orjinal bitümden daha yüksek penetrasyon değerine sahip olduğu görülmektedir. Parlama noktası deney sonuçları incelendiğinde Karayolları Teknik Özellikleri aralığında olduğu ve uygulamada kullanılan bitüme göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Yumuşama noktası deney sonucu incelendiğinde, deneyin amaçları arasında yer alan ani sıcaklık değişimlerine karşı daha dirençli olduğunun belirlenmesi deney sonuçlarında gösterilmiştir. Yaşlı deney örneklerinde ise saf bitüm ile karşılaştırıldığında artış devam etmiştir. Bu durum yapının içeriğinin bozulmadan yıllarca devam edebileceği sonucunu doğurmaktadır. Elastik geri tepme deneyi sonucu incelendiğinde, kauçuk katkı bitümün ağırlıkça kalıcı deformasyonlara karşı %8 oranında direncinin saf bitüme kıyasla daha da arttığı gözlenmiştir. Bitüm özgül ağırlık deneyinde katkı oranı arttıkça katkı oranına bağlı olarak özgül ağırlık oranının arttığı gözlenmiştir. Deney numunesinin %8 kauçuk katkı modifiye bitüm kullanılarak elde edilen DSR değerinin, orjinal ve polimer katkı modifiye bitüme kıyasla daha yüksek ve daha elastik bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak, elde edilen tüm deney sonuçlarının Karayolları Teknik Şartnamesinin sınır değer aralığında olduğu belirlenmiştir. Yapılan deney ve çalışma sonuçlarına göre, kauçuk ile modifiye edilerek elde edilen mastik asfaltın uygulamada kullanılması önerilmektedir.

5.KAYNAKLAR

- A.Çağlar, Çağlar, H., Sağlam, G., Çitoğlu, O., & Bayraktar, Y. (2017). "Geri dönüştürülmüş Agregaların İnşaat Sektöründe Yeniden Kullanımı". 1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi. Antalya.
- Avcı, E. (. (2009). *Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonlu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi*. Isparta: Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Büyüksaraçoğlu, Y. (2009). *Asfalt Yol İnşaatının Tedarik Zincirinin Simülasyon Tabanlı Modellenmesi*. Doctoral dissertation, Institute of natural and Applied Sciences.
- Ceylan, S. (2006). *Bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak carboniferous-triassic kayaç tozlarının kullanılması ve etkisi*. Konya: Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- F.Orhan. (2012). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü, Üstyapı Geliştirme Daire Başkanlığı, Araştırma ve Geliştirme Daire Başkanlığı.
- İmamoğlu, C. T. (2012). *Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamaların Trafik Gürültü Sönümlemesindeki Etkileri*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karacasu, M. O. (2015). A study on the rheological properties of recycled rubber-modified asphalt mixtures. *The Scientific World Journal*.
- M.İlçali. (2001). *Asfalt ve Uygulamaları*. İstanbul: İSFALT.
- O, R. P., X, W., Z, W., & H, C. (2018). *Farklı Yaşlanma İşlemlerinden Sonra SBS/CRP Modifiye Bitümün Sıcaklık Duyarlılığı Özellikleri*.
- Ömer, F., & Agar, E. (2017). *Petrol ürünleri-Parlama ve alevlenme noktası belirleme - Cleveland açık gemi yöntemi*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü,.
- Torun, S. (2015). *Bitümlü sıcak karışımlarda katkı maddesi olarak Pr Plast S kullanımının araştırılması*.
- TS EN 15326 + A1. (2010). *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini, Kılcal Kapaklı Piknometre Yöntemi*,. Ankara: TSE.
- TSEN14770. (2012). *Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Kompleks kesme modülü ve faz açısının belirlenmesi - Dinamik Kesme Reometresi (DSR)*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Dil Kurumu, (2018). *Asfalt Nedir?* : http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_yanlis&view=yanlis&kelimez=50 adresinden alındı
- Zhang, X. Z. (2018). *Asfalt Karışımının Düşük Dereceli Agrega, Kauçuk Asfalt ve Kükürt Giderme Alçı Artıkları ile Hazırlanmasının Fizibilite Değerlendirmesi. Malzemeler*.

Simülasyon Destekli Örnek Bir Tasarım ile Döküm Hatalarının Engellenmesi ve Maliyetlerin Düşürülmesi

An Example Simulation-Assisted Design Preventing Casting Errors and Reducing Costs

Erhan ÖZKAN
Dikkan AR-GE Merkezi, İzmir

Doi: 10.51764/smutgd.1208009

ÖZET

Geliş Tarihi :23.11.2022

Kabul Tarihi :27.05.2023

Bu makalede enerji sektöründe yaygın olarak kullanılan bir komponente ait kum kalıba döküm prosesinde yolluk tasarımına bağlı olarak hatasız bir ürün elde edilmesine yönelik döküm simülasyon işlemleri ve bu işlemlerin gerçek döküm uygulamasına ait çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Döküm ürünü geometrisinin ihtiyaçlarına uygun olan tahliye ve yolluk sistemlerinin tasarımı yapılmıştır. Solidworks ile tasarım simülasyonları gerçekleştirilmesini takiben Anycasting simülasyon programı kullanılarak katılaşma, dolum-zaman-sıcaklık analizleri ile mikro ve makro çekintilerin simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları ele alınarak yolluk-tahliye mekanizmaları yenilenmiştir. Farklı yapıda tasarlanan tahliye-yolluk sistemleri için gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları araştırılarak mukayese yapılmış ve prototip imalat sonuçları değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları döküm prosesinde yolluk tasarımının ürün kalitesine doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Yolluk tasarımlarının yenilenmesi neticesinde makro-mikro çekinti ile birlikte dolum süresi ve akış hızları değerlerinde de azalma görülmüştür. Simülasyon çalışmaları neticesinde döküm esnasında oluşması muhtemel hatalı parçaların üretimi ve kusurlu kalıp tasarımının önüne geçilmesi mümkün olacak ve parça başına düşen üretim maliyetleri azalacaktır.

Anahtar Kelimeler: Döküm, Kalıp, Yolluk, Simülasyon Destekli Tasarım.

ABSTRACT

In this article, casting simulation processes for obtaining an error-free product depending on the runner design in the sand mold casting process of a component that is widely used in the energy sector and the real casting application of these processes are carried out. The runner and discharge system were designed in accordance with the casting product geometry. Following the design simulations with Solidworks, solidification analysis, filling analysis, temperature distribution and macro-micro shrinkage simulations were performed with the Anycasting simulation program. The runner and discharge mechanism have been updated depending on the simulation results. The simulation results for two different runner and discharge systems were by comparing to each other, and these results were compared with real casting materials. The simulation results reveal that the runner design in the casting process has a direct effect on the product quality. It was observed that macro-micro shrinkage, filling time-flow rate values decreased concerning on the runner design. With the simulation results, it will be possible to prevent the production of defective parts and wrong mold design that may occur during the casting process, and to reduce the production costs per part.

Keywords: Casting, Mould, Runner, Simulation Assisted Design.

1. GİRİŞ

Döküm, sıvı metalin bir kalıp içerisinde katılaşılarak parça imalatına olanak sağlayan bir üretim şeklidir (Doehler, 1974). Bilinen en eski döküm yöntemi olan kum kalıba döküm düşük üretim maliyetleri sebebiyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Vinarçık, 2003). Kum kalıba döküm yöntemi, sıvı metal yolluğu ve kalıplamalarda gerçekleştirilecek revizyonlar ile yüksek adetli üretimlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlanmaktadır (Yüksel ve Güloğlu, 2009). Bu sebeple farklı geometrilere sahip malzemelerin geleneksel kum kalıba döküm yöntemiyle üretimlerde maliyet düşürme çalışmaları ile kalite iyileştirme faaliyetlerinde Ar-Ge çalışmalarının yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir (Koru, 2009). Kum kalıba döküm sürecinde kalıp ve yolluk tasarımının yanında pek çok parametre final ürünün kalite ve maliyetini doğrudan etkilemektedir (İpek ve Koru, 2009).

İmalat proseslerinde bilgisayar destekli simülasyon programlarından yaygın olarak faydalanılmaktadır (Imwinkelried, ve Homberger, 2001). Döküm simülasyon programlarının sağladığı avantajlar ile daha düşük maliyetli, kolay tasarım ile deneme-yanılma yoluyla gerçekleştirilen çalışmaların önüne geçilmiş ve yüksek verim elde edilmiştir (Çolak ve Kayıkçı, 2010). Programın ana hedefi, döküm işlemi sırasındaki ergimiş metalin akış esnasındaki katılma metalurjisinin simülasyonunu sağlamaktır (Arda ve Kayıkçı, 2006). Simülasyon programları ile sistem içerisindeki akış, katılma hızı, gerilim dağılımı, gözenek, gaz boşluğu gibi başlıklarda analizler gerçekleştirilebilmektedir (Savaş vd., 2005). Bu şekilde prototip üretime geçmeden önce parametreler tespit edilerek ilk deneme dökümünde istenilen sonuçların elde edilmesi mümkün olacaktır (Marques, 2006).

Uluslararası pazarda döküm sisteminin modelini ortaya koyan çok sayıda yazılım ile simülasyonlar geliştiren global firmalar bulunmaktadır (Boydak, 2007). Döküm sektöründeki rekabetçi ortam sebebiyle dökümle üretim yapan firmalar müşteri taleplerini yerine getirebilmek amacıyla simülasyon programları için yatırım yapmaktadırlar. Bu yatırım kalemlerinin yüksek maliyetleri ileride sağladığı faydaya kıyasla çok kısa sürede kendisini amorti etmektedir (Gözen, 2007). Bu yatırımı gerçekleştiren firmalar ürettikleri nitelikli ürünler ve azalan fire oranlarıyla elde edilen düşük maliyetleri ile kısa sürede kar edecek duruma geleceklerdir (Uludağ, 2007). Dökümhanelerde üretimin her aşamasında görev alan çalışanlar ve destek departmanları ürünleri kısa sürede müşteriye talep edilen şekilde ulaştırmakla yükümlüdür. Bu sebeple gerçekleştirilecek simülasyon çalışmaları kritik öneme sahiptir (Seo vd., 2007). Döküm simülasyonunda kullanılacak programlardan verim alınabilmesi için üretim parametrelerinin çok iyi tespit edilmiş olması gerekmektedir (Yan vd., 2007). Bu şartlara göre simülasyon yazılımlarının üretime entegrasyonu önem arz etmektedir. Kullanılan döküm simülasyon programının dökümhane şartlarına göre entegre edilmesi gerekir. Bu durumu daha da netleştirmek adına aşağıdaki maddelerin uygulanması önem arz etmektedir;

- Dökülecek malzemenin kimyasal kompozisyonu ile simülasyon programında yer alan kütüphanedeki malzeme bilgileri birebir aynı veya çok yakın olmalıdır,
- Kalıplama kumu karakterizasyonu programda seçilmelidir,
- Kumun fiziksel ve metalurjik özellikleri tespit edilmelidir,
- Döküm parçasındaki filtre, gömlek gibi bileşenler tanımlanmalıdır,
- Döküm parametre verileri simülasyon programına eksiksiz bir şekilde girilmelidir.

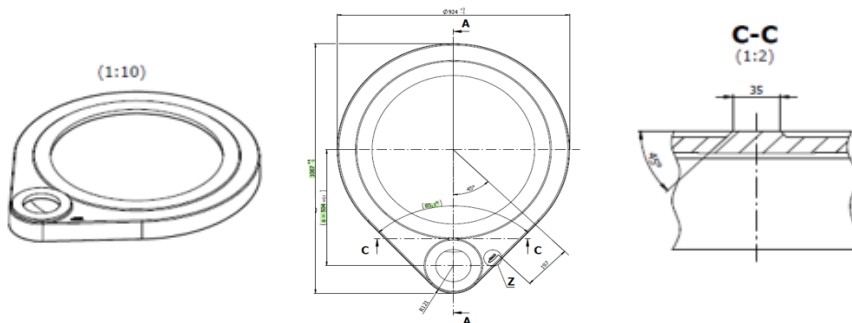
Simülasyon programları ile kalıplamaların yüksek olan maliyetleri düşürülmek suretiyle etkin ve hızlı üretimlerin gerçekleştirilmesi olanaklar dahilinde mümkün olabilmektedir ayrıca sıvı metalin sistem içerisindeki metalurjik davranışlarını gözlemlemek de kolaylıkla sağlanabilmektedir (Flender ve Hartmann, 2008).

Bilgisayar destekli tasarımların yanında teknolojik donanım uygulamalarının da artan bir şekilde geleneksel döküm yöntemlerini geliştirmeye yönelik kullanıldığı gözlenmektedir (Ayar vd., 2020). Özel donanımların kullanılması, altyapıda değişikliklere ve büyük miktarlarda ilave kumun sahada depolanmasına neden olabilir (Egal, 2021). Diğer taraftan depolanmış kumlarla üretilen ürünlerin zamana bağlı olarak kırılma yüzeylerinde hataların gözlenmesi de muhtemeldir (Hodder ve Chalataurnyk, 2019). Bu konu üzerinde özellikle uzun süre beklememiş ve yapısı bozulmamış kumla yapılan dökümlere kıyasla daha az klivaj düzlemleri, dendritik kırılma ve partikül aglomerasyonu gözlemlenmiştir (Ktari ve Mansori, 2022). Bu durumu engellemek adına üç boyutlu yazıcılarda üretilen maça tasarımları ile çözümler aranmış ancak sistemin yüksek yatırım maliyeti, karmaşık alt yapı parametreleri ve düşük üretim hızları bu sistemlerin ticarileşmesi ve yaygınlaşması konusuna engel teşkil etmiştir (Liu ve Wencai, 2019; Raikumar vd., 2021; Saxena vd., 2021). Tüm bu sonuçların irdelenmesi ile yüksek alt yapı, ilk yatırım, kurulum maliyetleri ile yavaş üretim hızı dezavantajlarını engellemek adına simülasyon programlarının yaygınlaşması ile sürdürülebilir bir gelişme kaçınılmaz hale gelmiştir (Shabani vd., 2020; Sivarupan vd., 2021; Zhenag vd., 2020).

Bu çalışmada, kum kalıba döküm yöntemi ile enerji sektöründe kullanılan bir komponentin üretilmesi için yolluk sistemi hakkında simülasyon faaliyetleri gerçekleştirilmiştir Döküm parçası birebir ölçeklerde modellenerek, ideal tahliye ve yolluk prosesinin üretim şartlarındaki karakteri Anycasting simülasyon programında gözlenmiştir. Simülasyon sonuçları detaylı bir şekilde ele alınmış, hatanın bulunduğu yerler tespit edilmiş ve yolluk tasarımları tekrar ele alınarak geliştirilmiştir. Doğrulamalar ile yeniden gerçekleştirilen simülasyonlar neticesinde hataların ortadan kalktığı tespit edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler prototip imalatında gözlenerek simülasyon ve gerçek üretim sonuçları mukayese edilmiştir.

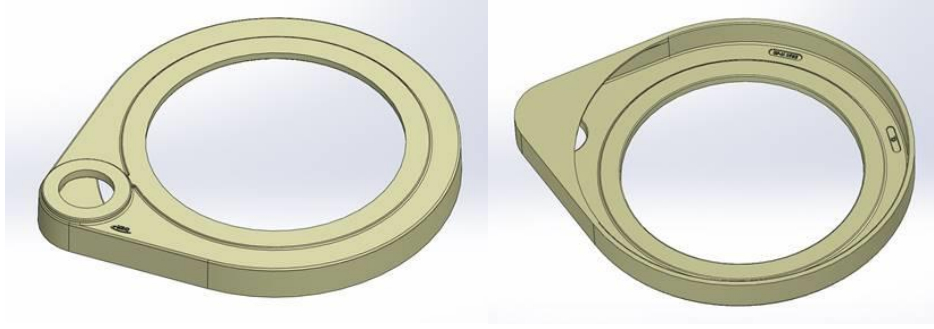
2. MATERYAL VE METOT

Dökümü gerçekleştirilecek olan parçanın tasarımları CAD (bilgisayar destekli dizayn) yardımı ile tamamlanmıştır. Bu aşama tasarım simülasyonu için veri oluşturmak adına temel oluşturmaktadır. CAD tasarımı gerçekleştirilen ürüne ait teknik resimler Şekil 1'de gösterilmiştir.



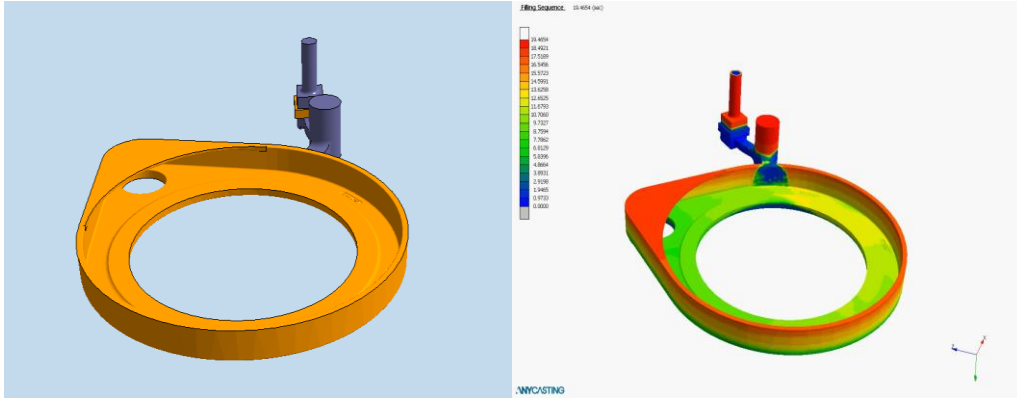
Şekil 1. Dökümü Gerçekleştirilecek Ürüne Ait CAD Çizimi

Ürün tasarımları Solidworks programında yapılmıştır. Şekil 2’de dökümü gerçekleştirilecek olan parçanın tasarım simülasyonu yer almaktadır.



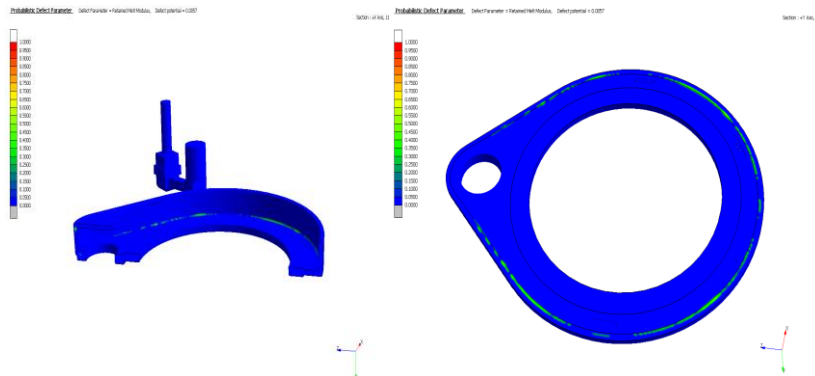
Şekil 2. Dökümü Gerçekleştirilecek Olan Parçanın Tasarım Simülasyonu

Anycasting döküm simülasyon programında tek yolluklu besleme ile tasarım gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda malzeme GJS 500-7, net 80 kg brüt 118 kg, döküm sıcaklığı 1380 °C olarak veriler alınmıştır. Simülasyon verilerine göre döküm işlemi 19 saniyede gerçekleşmiştir. Şekil 3’te döküm simülasyonu sıcaklık ve dolun zaman analizi gösterilmiştir.



Şekil 3. Döküm Simülasyonu Dolun Zaman-Sıcaklık Analizi

Döküm simülasyonu ile mikro ve makro çekinti analizi yapılmıştır. Şekil 4’te mikro ve makro çekinti analizi yer almaktadır.

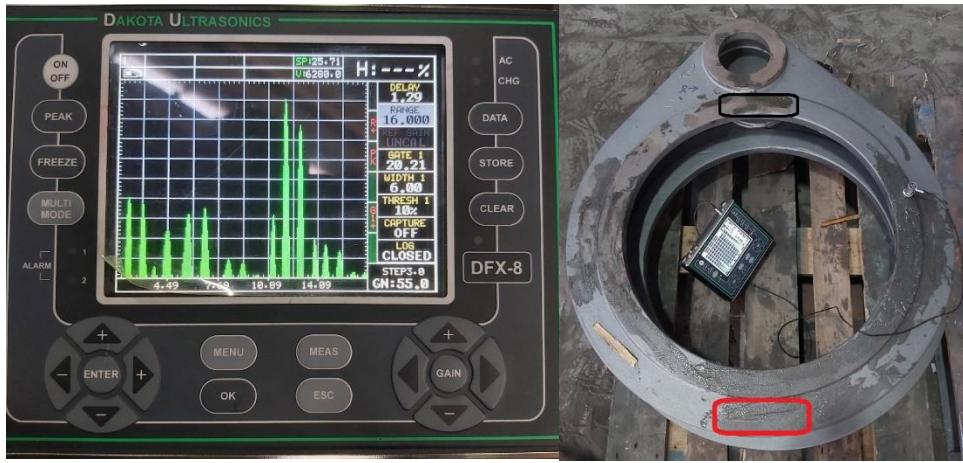


Şekil 4. Döküm Mikro ve Makro Çekinti Analizi



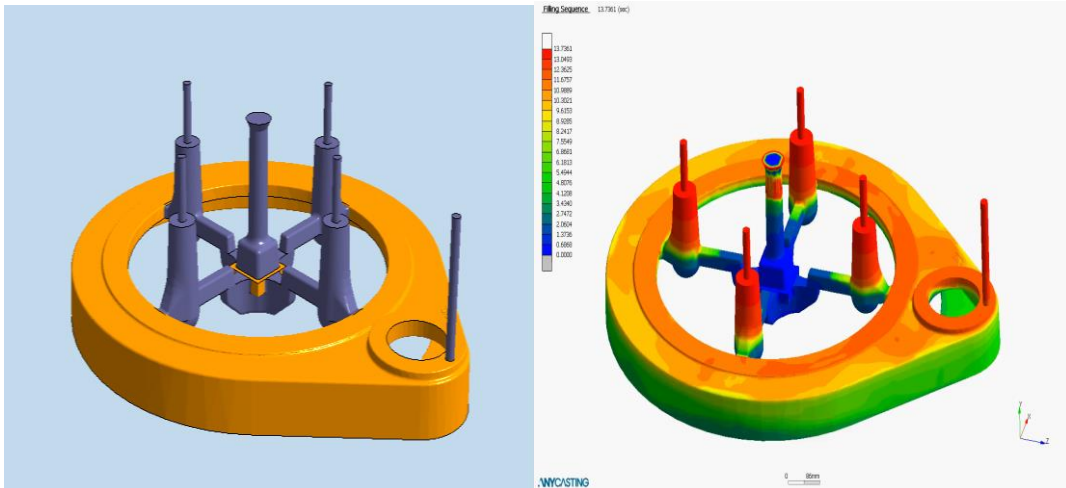
Şekil 5. Simülasyonda Çekinti Tespit Edilen Ürünlerin Gerçek Döküm Hataları

Dökümü gerçekleştirilen malzemeye ait tahribatsız muayene testleri Dakota Ultrasonics ZX-3 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda mikro ve makro çekintilerin gözlemlendiği bölgelerde hatalar tespit edilmiştir. Şekil 6'da döküm malzemelere uygulanan tahribatsız muayene düzeneği ve analiz sonucu yer almaktadır.



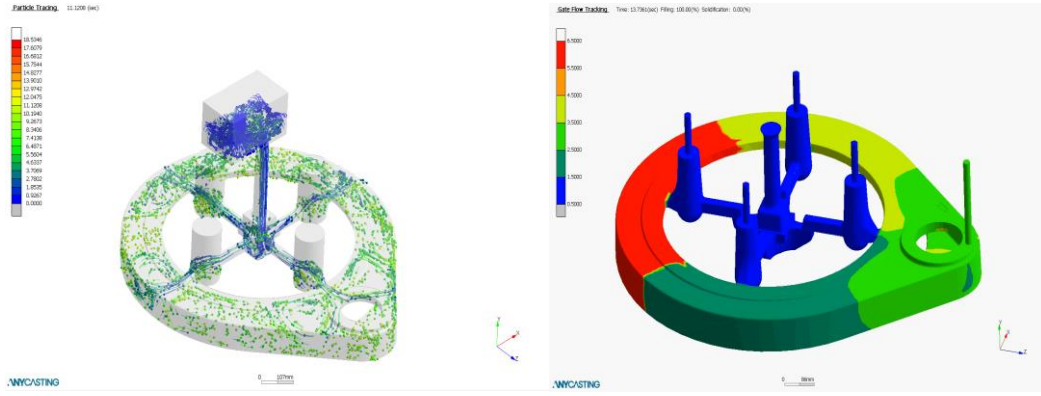
Şekil 6. Döküm Hatalarına Ait NDT Analizi

Bu hatanın engellenmesi adına ilave yollukların olduğu yeni tasarım analizleri simülasyonda gerçekleştirilmiştir. Döküm malzemesi, parça net ağırlığı ve döküm sıcaklığı aynı kalacak şekilde analizler gerçekleştirilmiştir. Yeni tasarımda brüt ağırlık 140 kg, döküm süresi ise 13 saniye olarak tespit edilmiştir. Şekil 7'de yeni tasarıma ait döküm simülasyonu dolun-zaman grafiği yer almaktadır.

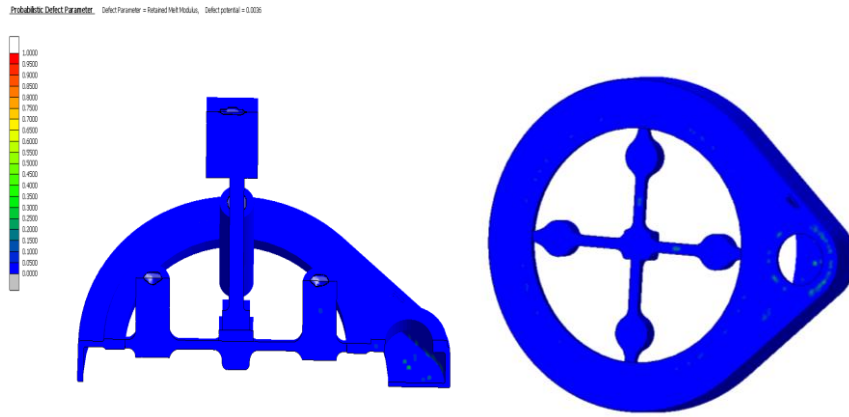


Şekil 7. Döküm Simülasyonu Dolun Zaman Analizi

İyileştirilen tasarıma ait dolum hareketi parçacık izleme yöntemi ile türbülans oluşumu ve yolluk tasarım kontrolü gerçekleştirilmiştir. Şekil 8’de dolum akışı ve türbülans simülasyonu yer almaktadır.

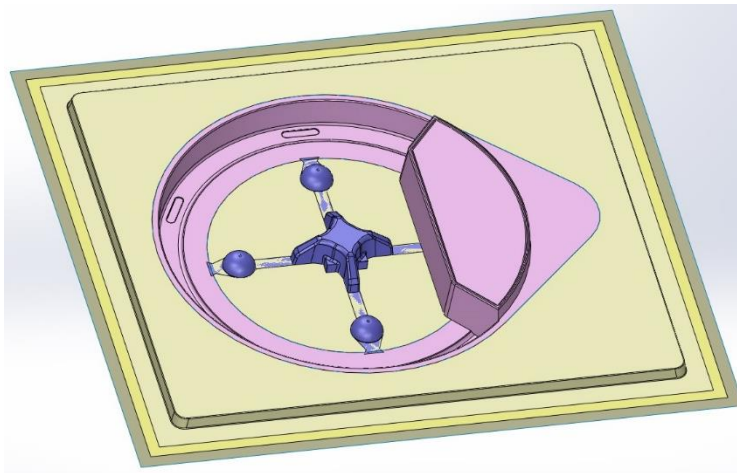


Şekil 8. Parçacık İzleme Analizi Simülasyonu

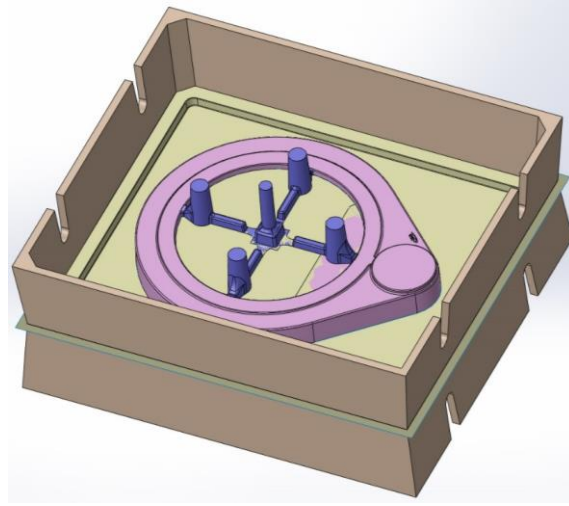


Şekil 9. Döküm Mikro ve Makro Çekinti Analizi

İyileştirilmiş tasarımın alt ve üst yolluklarına ait tasarım simülasyonu Solidworks ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 10’da döküm alt derece, Şekil 11’de döküm üst derece tasarımları gösterilmiştir.



Şekil 10. Alt Derece Tasarımı



Şekil 11. Üst Derece Tasarımı



Şekil 12. İyileştirilmiş Tasarım Modeli ve Bu Ürüne Ait Gerçekleştirilen Döküm

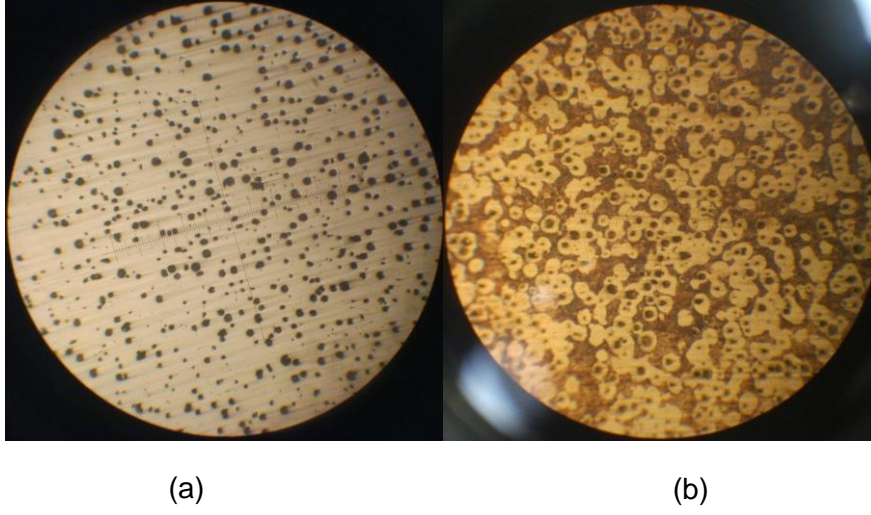
Döküm malzemesi EN-GJS 500-7 (GGG 50) olarak tasarlanmıştır. GGG 50 malzemesinin yüksek mekanik değerlere ulaşmasındaki ana sebep tam ferritik mikroyapı elde edilmesidir. Ostenit fazı içerisinde çözünen karbon ferritik mikro yapı içerisinde dağılmış olarak bulunan küresel grafit formundadır. Şekil 12’de iyileştirilmiş ürünün tasarım modeli ve bu ürüne ait döküm yer almaktadır. Döküm malzemesine ait kimyasal analiz Metavision 1008 marka spektrometre ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 1’de GGG 50 malzemesine ait kimyasal analiz değerleri yer almaktadır.

Tablo 1. Gövde Malzemesi Olarak Seçilen GGG 50 Kimyasal Analizi

Element	Fe	C	Si	Mn	Mg	P	S
%	93,2	3,75	2,15	0,295	0,073	0,021	0,010

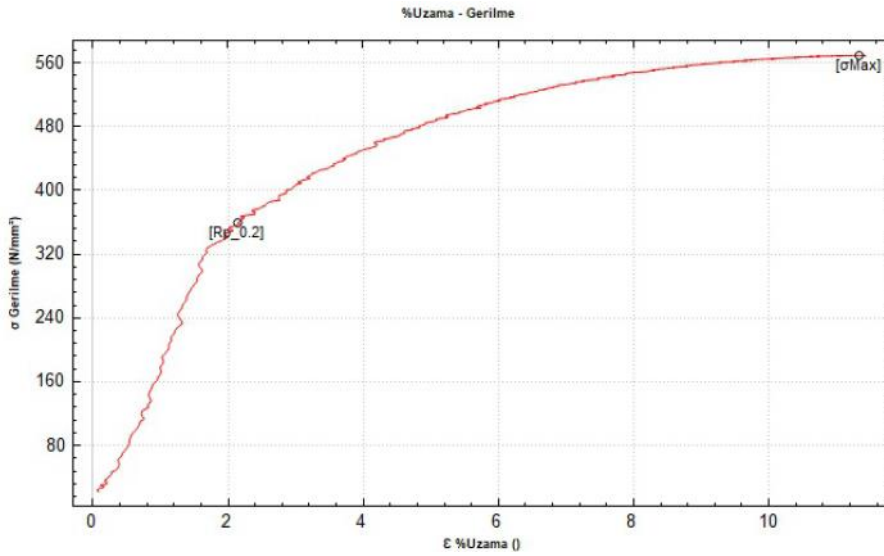
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İyileştirilmiş malzemeye ait gerçekleştirilen metalografik analizler neticesinde parlatılmış ve %5 Nital çözeltisi ile dağlanmış mikro yapıları gerçekleştirilmiştir. Şekil 13’te 1380 °C’de dökümü gerçekleştirilmiş GGG50 malzemenin parlatılmış ve dağlanmış mikro yapı görüntüleri yer almaktadır. Literatüre göre yüksek ferrit miktarına sahip olması ve küreselliğin homojen bir şekilde dağılması beklenmektedir. Mikroyapı görüntülerine göre %45 ferrite sahip homojen dağılımlı grafitte sahip mikro yapı görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 13. İyileştirilmiş döküm malzemesine ait (a) parlatılmış (b)dağlanmış mikro yapı resimleri

Ürünlerin mekanik mukavemet özelliklerinin tespit edilebilmesi için çekme-kopma test cihazı kullanılmıştır. Çekme testlerinin sonuçları Şekil 14'te yer almaktadır.



Şekil 14. Çekme Testi Grafiği

Çekme testi sonucunda elde edilen grafikten çıkartılan sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Literatür araştırmaları ve standart taramaları neticesinde ürüne ait akma mukavemeti 300 N/mm², çekme mukavemetinin ise 500 N/mm² mertebelerinde olması uygun bulunmaktadır. Çalışma sonucunda 340 N/mm² akma mukavemeti, 560 N/mm² çekme mukavemeti elde edilerek ideal koşullar sağlanmış bulunmaktadır.

Tablo 2. Prototip İmalat Malzemesine Ait Mekanik Değerler

Fm	87.600 kN
Rm	569.17 N/mm²
L0	70.000mm
L1	78.000mm
Uzama%(Elongation)	%11.4
Rp02	359.31N/mm²
E-modul	1106.720

Döküm parçalarında karşılaşılan hataları engellemek adına yolluk tasarımı ile iyileştirilen üründe herhangi bir hata tespit edilmemiş olup %46 oranında sürede iyileşme tespit edilmiştir. Bu sayede üretim hızı artırılmış ve kalitesizlik maliyeti düşürülmüştür. Diğer tarafta brüt ağırlık %18 mertebesinde yükselmiştir. Bu artıştaki malzeme tekrar geri dönüşüm için hammadde olarak kullanılacak şekilde planlama yapılmıştır. İyileştirilmiş tasarım neticesinde yolluk ayırmak amacıyla gerçekleştirilen işçilikler %8 oranında artış göstermiş olmasına rağmen yapılan iyileştirme işletme açısından kabul edilebilir seviyede maliyet düşürme, kalite iyileştirme projesi olarak ele alınacak nitelikte kazanç sağlamaktadır. Tablo 3'te simülasyon destekli yolluk tasarımında neticesinde elde edilen verilerin karşılaştırması yer almaktadır.

Tablo 3. Simülasyon Destekli Yolluk Tasarım Veri Karşılaştırma Tablosu

Özellikler	Önce	Sonra
Malzeme	GJS 500-7	GJS 500-7
Parça Net Kg	80	80
Parça Brüt Kg:	118	140
Dolum Süresi sn:	19	13
Döküm Sıcaklığı °C:	1380	1380

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada enerji sektöründe kullanılan bir iş parçasının iki farklı yolluk sistemi ile bilgisayar destekli tasarımı, simülasyon işlemleri, prototip imalatı ve final ürünün karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar destekli tasarım işlemlerinin ardından her iki tasarım için simülasyon programı ile dolum zamanı-sıcaklık, makro-mikro çekinti ve parçacık izleme analizleri ile akış hızlarına ait tespitler yapılmıştır. 2. yolluk sistemi tasarımı 1. yolluk sistemi tasarımı ile mukayese edildiğinde gerçekleştirilen çalışmaların tamamı tüm analizler için daha uygun sonuçlar vermiştir. Özellikle 2. yolluk sistemi tasarımında dolum süresi kısalmış, makro-mikro çekintilerin ortadan kalktığı gözlenmiştir. Ayrıca akış hızları mukayese edildiğinde 2. yolluk tasarımının daha olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmaya göre özellikle simülasyon destekli tasarımlar ile Ar-Ge prototip imalat ve tasarım doğrulama ile kalitesizlik kaynaklı fire maliyetlerinin azaltıldığı tespit edilmiş, yolluk tasarımı ile üretilen parçaların metalurjik özelliklerine doğrudan etki ettiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bir diğer önemli sonuç ise, simülasyon ortamında bilgisayar destekli tasarımla elde edilen sonuçların prototip imalat sonuçları ile birebir örtüşüyor olmasıdır. Sonuç olarak tasarım aşamasında elde edilen simülasyon ve bilgisayar destekli tasarım faaliyetleri mühendislik uygulamalarında kritik bir öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

- Arda, İ., Kayıkcı, R. Döküm simülasyonu nedir? Ne değildir? Metal Dünyası, 2006; 154; 144-148.
- Ayar, MS., Ayar VS., George. PM. "Simulation and experimental validation for defect reduction in geometry varied aluminium plates casted using sand casting. Materials Today: Proceedings; 2020; 27; 1422-1430.
- Boydak, Ö. An Experimental and a numerical investigation of a high pressure die casting aluminium alloy. Boğaziçi Üniversitesi Graduate Program In Mechanical Engineering, Degree Of Master, sayfa no: 121, İstanbul, Türkiye, 2007.

- Çolak, M., Kayıkcı, R. Döküm simülasyon programları üzerine bir değerlendirme, *Metal Dünyası*, 2005; 189, 2-4.
- Doehler, HH. Basınçlı döküm mesleki ve teknik öğretim kitapları. Ankara: Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları; No:80, Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Matbaası, 1974.
- Eqal, AK. Experimental and simulation study of solidification of commercial pure aluminium by sand casting. *Materials Today: Proceedings*, 2021; 45; 5122-5127.
- Flender, E., Hartmann, G. Modeling and simulation in high pressure die casting, *Metalworld*, 2008; 10-17.
- Hodder, JK., Chalataurnyk RJ. Bridging additive manufacturing and sand casting: Utilizing foundry sand. *Additive Manufacturing*, 2019; 649-660.
- Gözen A. Basınçlı döküm kalıplarında yolluk sistemlerinin tasarımı ve simülasyonunun incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Müh. Anabilim Dalı, sayfa no:107, İstanbul, 2007.
- Imwinkelried, T., Homberger, H. Mould fill simulation to improve the quality of a component. *Magnesium Industry*, 2001; 39-43.
- İpek, O., Koru, M. Yüksek basınçlı döküm prosesinde kalıp sıcaklığına bağlı olarak döküm-kalıp ara yüzeyinde oluşan termal temas direncinin belirlenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2010; 31(1); 45-57.
- Imwinkelried, T., Homberger, H. Mould fill simulation to improve the quality of a component, *Magnesium Industry*, 2001; 39-43.
- Ktari, A., and Mohamed EM. Digital twin of functional gating system in 3D printed molds for sand casting using a neural network, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2022; 1-13.
- Liu, W., et al., High temperature mechanical behavior of low-pressure sand-cast Mg–Gd–Y–Zr magnesium alloy, *Journal of Magnesium and Alloys*, 2019; 7(4); 597-604.
- Marques, MJ. CAE Techniques for casting optimization, *Instituto de Engenharia Mecanica e Gestao Industrial*, 2006, 1-4.
- Rajkumar, I., et al. Experimental and simulation analysis on multi-gate variants in sand casting process." *Journal of Manufacturing Processes*, 2021; 62; 119-131.
- Savaş, Ö., Kayıkcı, R., Cüceloğlu, E. Alüminyum-Silisyum alaşımlarının dökümünde mikro porozite probleminin incelenmesi, *Metal Dünyası*, 2005; 144; 119-123.
- Saxena, Prateek, et al. Sustainability metrics for rapid manufacturing of the sand casting moulds: A multi-criteria decision-making algorithm-based approach, *Journal of Cleaner Production*, 2021; 311; 127506.
- Seo, P.K., Kim, D.U., Kang, C.G. The effect of the gate shape on the micro structural characteristic of the grain size of Al–Si alloy in the semi-solid die casting process, *Materials Science and Engineering*, 2007; 445-446; 20-30.
- Shabani, MO. et al. Evaluation of fracture mechanisms in Al-Si metal matrix nanocomposites produced by three methods of gravity sand casting, squeeze casting and compo casting in semi-solid state, *Silicon*, 2020; 12; 2977-2987.
- Sivarupan, T. et al. A review on the progress and challenges of binder jet 3D printing of sand moulds for advanced casting. *Additive Manufacturing* 2021; 40; 101889.
- Uludağ., A. Basınçlı döküm yönteminde kalıp sistem tasarımı ve simülasyon analizi. Yıldız teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Müh. Anabilim Dalı, sayfa no:91, İstanbul, 2007.
- Vinarçık, JE. High Integrity Die Casting Processes. New York. John Wiley&Sons. 2003.
- Yan, H., Zhuang, W., Hu, Y., Zhang, Q., Jin, H. Numerical simulation of AZ91D alloy automobile plug in pressure die casting process, *Journal of Materials Processing Technology*, 2007; 187(5); 349-353.
- Yüksel, S., Göloğlu C. Metal enjeksiyon kalıplamada yolluk tasarımı sistematigi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2009, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Zheng, Jun, et al. Effectiveness analysis of resources consumption, environmental impact and production efficiency in traditional manufacturing using new technologies: Case from sand casting, *Energy Conversion and Management*, 2020; 209; 112671.

Pamuklu Kumaşların Bitki Bazlı Gıda Boyaları İle Boyanabilirliğinin Araştırılması

Investigation of the Dyeability of Cotton Fabrics with Plant-Based Food Colorings

Çağla GÖKBULUT, Hülya KICIK
Elyaf Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Bursa

Doi: 10.51764/smutgd.1223318

Geliş Tarihi :23.12.2022

ÖZET

Kabul Tarihi :28.05.2023

Boyarmaddeler hemen hemen her sektörde kullanılmaktadır. Ancak sentetik boyarmaddelerin çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bundan dolayı son dönemlerde özellikle tekstil sektöründe çevre dostu doğal boyarmaddeler ön plana çıkmıştır. Bu boyarmaddeler toprak, kil, bitki bazlı olabilmektedir. Doğal boyalar tekstil sektörü dışında kozmetik ve eczacılıkta, güneş pillerinde, gıda renklendirmede ve pH indikatörü olarak kullanılabilir. Gıda sektöründe kullanılan boyarmaddelerin amacı işlenmiş gıda ürünlerinin tüketici gözünde albenisini artırmaktır. Ancak tekstil sektöründe olduğu gibi gıda sektöründe de doğal, bitki bazlı boyarmaddelere olan talebin her geçen gün arttığı görülmektedir. Çalışma kapsamında %100 pamuk dokuma kumaş pancar, kara havuç, zerdeçal ve klorofil toz gıda boyaları kullanılarak çektirme metoduna göre boyanmıştır. Boyamalarda %1 ve %10 olmak üzere iki farklı boyarmadde konsantrasyonunda şap ve demir (II) sülfat mordanları kullanılmıştır. Mordanlama işlemi ön ve eş zamanlı olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Boyamalar sonucunda elde edilen sarı, kahve, yeşil, bej ve gri renkli kumaşların renk ölçümleri ve yıkama, su, kuru ve yaş sürtme haslık kontrolleri yapılmıştır. Renk ölçümlerinde en iyi renk veriminin ön mordanlama prosesleriyle elde edildiği görülürken, pancarın sıcaklıkla bozunduğu tespit edilmiştir. Her boya için renk verimliliği en yüksek kumaşların yıkama haslıklarına bakıldığında en iyi sonuç klorofil ve pancarda elde edilmiştir. Aynı kumaşların su haslıklarında yalnızca zerdeçalın kirletme (CS) değeri dışında tüm sonuçlar 3/4 ve üzeridir. Sürtme haslıklarında ise zerdeçal dışındaki boyaların haslıkları en az 4 değerindedir. Sonuç olarak gıda boyalarının tekstilde kullanımının umut vadettiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Tekstilde doğal boyama, klorofil, kara havuç, pancar, zerdeçal

ABSTRACT

Dyestuffs are used in almost every industry. However, synthetic dyestuffs have negative effects on the environment and human health. Therefore, in recent years, environmentally friendly natural dyestuffs are come into prominence, especially in textile industry. These dyestuffs can be soil, clay or plant based. Natural dyes can be used in cosmetics and pharmacy, solar cells, food coloring and as a pH indicator, apart from the textile industry. The processed products in the food industry are colored in order to increase their sales appeal on the consumer. However, as in the textile industry, the demand for natural, plant-based dyestuffs in the food sector is increasing day by day. Within the scope of the study, 100% cotton woven fabric was dyed according to the exhaustion method using beet root, black carrot, turmeric and chlorophyll powder food dyes. Alum and iron (II) sulfate mordants were used in dyeings at two different dye concentrations, 1% and 10%. The mordanting process was carried out in two ways as pre-mordanting and simultaneous mordanting. Color measurements of yellow, brown, green, beige and gray fabrics obtained as a result of dyeing and fastness to washing, water, dry and wet rubbing were checked. In the color measurements, it was observed that the best color depth was obtained with the pre-mordanting processes, while it was determined that the beet root decolorized with temperature. Considering the washing fastness of the fabrics with the highest color depth for each dye, the best results were obtained in chlorophyll and beet root. In the water fastness of the same fabrics, all results are 3/4 and above, except for the color staining (CS) value of only turmeric. In terms of rubbing fastness, the fastness of dyes other than turmeric is at least 4. As a result, it can be said that the use of plant-based food colorings in textiles is promising.

Keywords: Natural dyeing in textile, chlorophyll, black carrot, beetroot, turmeric

1. GİRİŞ

Gıda ürünlerinde renk, ürünün kalitesini belirleyen ve tüketicinin satın alımını etkileyen unsurlardan biridir (Özyurt vd., 2019). İşlenmiş gıdaların üretiminde uygulanan bazı işlemler renk pigmentlerini etkilemektedir. Bu sorunun çözülmesi için ise doğal ve sentetik renklendiriciler kullanılmaktadır. Sentetik renklendiriciler ile kıyaslandığında doğal renklendiriciler daha yüksek kullanım maliyeti ve stabilitelerin düşük olması gibi birçok dezavantaja sahiptir. Fakat tüketiciler giderek sentetik renklendiricilerden uzaklaşmakta ve zararsız doğal pigmentleri tercih etmektedir (Martins et al., 2017). Doğal pigmentler en yaygın şekli ile karotenoidler, klorofiller, antosiyaninler ve betalainlerdir (Stintzing, 2004).

Curcuma longa latince ismi ile bilinen zerdeçalın içerdiği boyarmadde kurkumindir ve sarı renk eldesinde kullanılır (Tilak et al., 2004). Altın baharat olarak da bilinen bu baharat, ilaç ve kozmetik sektöründe gıda koruyucu ve renklendirici olarak kullanılmaktadır (Ghoreishian et al., 2013). Kara havuç (*Daucus carota* L), içerisinde antosiyanin bulunduran bitkilere örnek gösterilebilir. Antosiyaninler pembe, mavi, mor ve kırmızı rengi veren bileşiklerdir (Turgay & Çelik 2016). Antosiyaninlerin rengi bulunduğu konsantrasyon ve ortamın pH'ından etkilenmektedir (Rodriguez, 2016). Betalainler, kırmızı-mor ve sarı-turuncu rengi veren pigmentlerdir (Ravichandran, 2013). Gıda endüstrisinde doğal renklendirici olarak kullanılan pancar (*Beta vulgaris*) en önemli betalain kaynaklarından biridir (Özyurt vd., 2019). Klorofil pigmenti biber, elma, kivi gibi tüm bitkilerin yeşil renk kaynağıdır. Bu pigment asit, ısı ve metal iyonları etkisiyle dönüşmekte ve rengini kaybetmektedir. Ayrıca fotodegradasyon ve asidik pH'larda stabil olmaması sebebiyle gıdalarda kullanımı sınırlanmaktadır (Rodriguez, 2016).

Son yıllarda özellikle tekstil ürünleri için sentetik boyalar yerine doğal boyaların kullanımı söz konusu hale gelmektedir (Tilak et al., 2004). Yukarıda bahsi geçen bitkilerin tekstil boyamacılığında kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Yapılan bir çalışmada Curcuma Longa ekstraktı kullanarak pamuklu ve yünlü kumaşlarda bakır sülfat ($CuSO_4$), demir sülfat ($FeSO_4$) ve alüminyum potasyum sülfat $KAl(SO_4)_2$ ile boyama gerçekleştirildiğinde sarı, turuncu, kahverengi tonları elde edilmiştir. Boyanan kumaşların haslık değerleri incelendiğinde şap ile mordanan kumaşların yıkama ve ışık hasılığının diğer mordanlara göre daha kötü olduğu tespit edilmiştir (Onal vd., 2020).

Yapılan başka bir çalışmada doğal renklendirici olan zerdeçal ile boyanmış ipek kumaşlara renk ve antibakteriyel özellik kazandırmak amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında boya konsantrasyonunun artması ile antibakteriyel özelliklerinin arttığı görülmüştür. Oran olarak %30 zerdeçal ile muamele gören numunelerde optimum düzeyde antibakteriyel aktivite gözlenmiştir (Ghoreishian et al., 2013).

Diğer bir çalışma kapsamında zerdeçal boyalı örme kumaşların renk haslığı, ter, su, sürtme ve tükürüğe karşı haslık özellikleri incelenmiştir. Boyama işleminde mordanlı ve mordanlı olmayan kumaşlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda mordan içeren pamuklu kumaşların renk haslığı özelliklerini, mordan içermeyen kumaşlara göre dahi iyi olduğu görülmüştür (Rahman et al., 2020).

Kırmızı pancar kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada yün ve pamuklu kumaşlar boyanmıştır. Boyama işlemi demir, kalay, çinko, krom, bakır ve şap metal tuzları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyama ve test sonuçları, pamuklu ve yünlü kumaşların kırmızı pancar ile boyanabilirlik performansının kullanılan mordan ve uygulama yönteminden büyük ölçüde etkilenebileceğini göstermiştir. Boyanan renklere bakıldığında, pamuk kumaşların çok açık renklere olduğu fakat bunun yanında yün kumaşların oldukça koyu renklere boyandığı görülmüştür (Benli, 2020). Kara havuç ile yapılan bir çalışmada 4 farklı ortamda ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan ekstraksiyonların K/S değerleri ölçülmüş ve ekstraksiyon için en iyi ortam %2 asitlendirilmiş metanol ile elde edilmiştir. Bunun dışında 70°C ve 55 dk boyama şartlarının en iyi şartlar olduğu görülmüştür (Batool et al., 2019).

Bugüne dek tekstilde yapılan doğal boya çalışmaları incelendiğinde bitkilerin ekstrakte edilerek kullanıldığı görülmüştür. Ancak bu durum endüstriyel ölçekteki üretimlerde yüksek nakliye gideri, depolamada fazla yer ihtiyacı, ekstraksiyon işlemi için özel teçhizatların gerek duyulması, sulu ekstraktların dayanımının düşük olması gibi dezavantajlara sahiptir. Bu çalışmada yukarıda bahsi geçen olumsuzlukları gidermek amacıyla suda çözünebilir, toz, doğal gıda boyalarının çekirtilme metoduna pamuklu kumaş renklendirmedeki boyama performansı ve haslıkları incelenerek kullanım olanakları değerlendirilmiştir. Böylece endüstriyel uygulamada renk verimi yüksek ve daha pratik bir doğal boyama yönteminin geliştirilmesi sağlanacaktır.

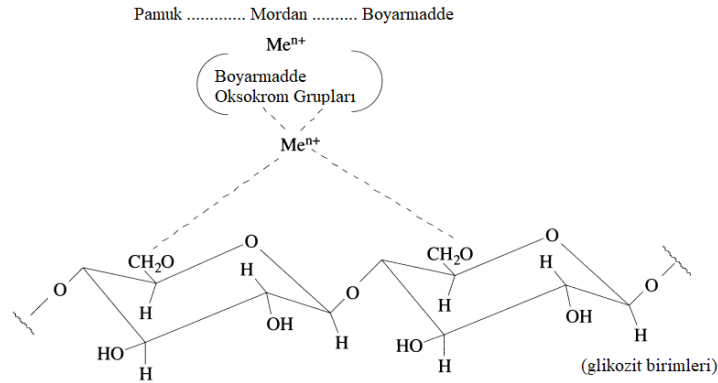
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada ön işlemleri tamamlanmış bez ayağı örgüsünde, 108 g/m² gramaja sahip, %100 pamuklu poplin kumaş kullanılmıştır. Kumaşların boyanması için kullanılan gıda boyaları Picta firmasından temin edilen PC21TZ003 kodlu zerdeçal, PC17TZ001 kodlu klorofil, PC02TZ001 kodlu pancar ve PC01TZ002 kodlu kara havuçtur ve bu boyaların tamamı suda çözünebilir toz formundadır. Çalışmada potasyum alüminyum sülfat dodekahidrat bir diğer adıyla şap [KAl(SO₄)₂·12H₂O] ve demir (II) sülfat heptahidrat (FeSO₄·7H₂O) olmak üzere iki adet mordan malzemesi kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

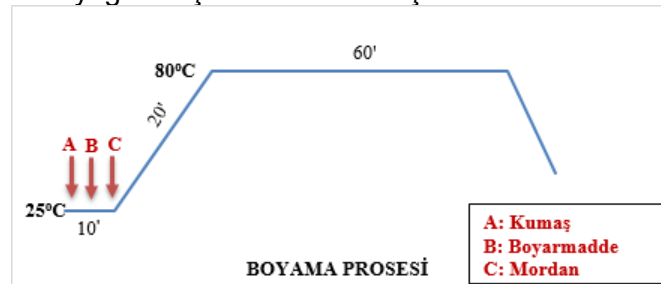
Boyarmaddeler, genellikle elyaf ve pigment ile bir kompleks oluşturan çok değerlikli metalik iyonların bulunduğu farklı metal tuzları kullanılarak farklı ton ve farklı renklerde renk verebilirler (Benli, 2020). Bu kapsamda çalışmada kumaşların gıda boyası ile boyanma işlemi iki farklı mordan kullanılarak, iki farklı mordanlama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Pamuk kumaşların mordan kullanılarak boyanmasında mordan malzemenin pamuk ve boyarmadde arasında hidrojen bağı oluşmaktadır (Önal, 1996). Boyama mekanizması Şekil 1'de verildiği gibidir.



Şekil 1. Kumaş ve boyarmadde arasındaki boyama mekanizması (Önal, 1996)

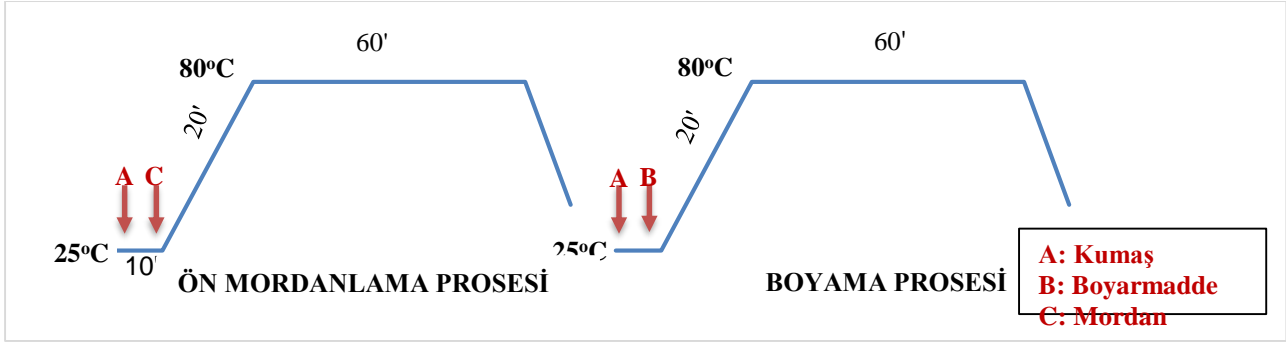
Kullanılan zerdeçal, klorofil, pancar ve kara havuç boyalarının hem eş zamanlı mordanlama hem de ön mordanlama işlemi ile boyamaları yapılmıştır. Tüm prosesler TERMAL marka 30 litrelik su banyosu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan her boyamada 10 g kumaş kullanılmıştır.

Eş zamanlı mordanlama uygulanan kumaşların boyama işlemleri 1:20 flote oranında 80°C'de 60 dakika boyunca gerçekleştirilmiş, ardından kumaşlar 50°C'de 20 dk yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Literatür incelendiğinde kullanılan mordan miktarlarının %1 ile %10 arasında değiştiği görüldüğünden çalışma kapsamında da mordan miktarı %10 olarak belirlenmiştir. (Hosen et al., 2021, Batool et al., 2019, Yılmaz Şahinbaşkan et al., 2018) Çalışmada boyarmadde miktarı %1 ve %10 oranında kullanılmıştır. Şaplı ön mordanlama banyolarının pH değeri 3,46 ile 3,7 arasında değişmektedir. Demir (II) sülfatlı ön mordanlama banyolarının pH değeri 3,5 ile 4,3 arasında değişmektedir. Ön mordanlama prosesinden sonra boyama prosesleri incelendiğinde pH'lar 6,1 ile 8,7 arasında değişmektedir. En yüksek pH değerleri klorofil boyama banyolarında görülmüştür. Eş zamanlı mordanlama ile yapılan boyamalarda şap kullanıldığında boyama banyoları pH'ı 3,1-3,7 arasındadır. Demir (II) sülfatın mordan olarak kullanıldığı banyolarda ise bu değerler 3,5-6 arasında değişmektedir. Boyama diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Eş zamanlı mordanlama prosesi için boyama diyagramı

Ön mordanlama işleminde ise kumaşlar boya verilmeden önce yine %10 mordan miktarı ile 80°C'de 60 dakika muamele edilmiş, ardından boyama banyosunda boyarmadde oranı %1 ve %10 olacak şekilde yine 80°C'de 60 dakika boyanmış ve kumaşlar 50°C'de 20 dk yıkanmıştır. Boyama diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Ön mordanlama prosesi için boyama diyagramı

Yapılan tüm boyama reçeteleri ve numunelere ait kumaş kodları Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada gerçekleştirilen denemeler

Kumaş Kodu	Boyarmadde Miktarı	Mordan Türü	Mordan Uygulama Türü
1	1% Zerdeçal	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
2	1% Zerdeçal	%10 Şap	Ön Mordanlama
3	10% Zerdeçal	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
4	10% Zerdeçal	%10 Şap	Ön Mordanlama
5	1% Zerdeçal	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
6	1% Zerdeçal	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama
7	10% Zerdeçal	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
8	10% Zerdeçal	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama
9	1% Klorofil	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
10	1% Klorofil	%10 Şap	Ön Mordanlama
11	10% Klorofil	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
12	10% Klorofil	%10 Şap	Ön Mordanlama
13	1% Klorofil	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
14	1% Klorofil	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama
15	10% Klorofil	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
16	10% Klorofil	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama
17	1% Pancar	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
18	1% Pancar	%10 Şap	Ön Mordanlama
19	10% Pancar	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
20	10% Pancar	%10 Şap	Ön Mordanlama
21	1% Pancar	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
22	1% Pancar	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama
23	10% Pancar	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
24	10% Pancar	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama
25	1% Kara Havuç	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
26	1% Kara Havuç	%10 Şap	Ön Mordanlama
27	10% Kara Havuç	%10 Şap	Eş Zamanlı Mordanlama
28	10% Kara Havuç	%10 Şap	Ön Mordanlama
29	1% Kara Havuç	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
30	1% Kara Havuç	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama
31	10% Kara Havuç	%10 Demir (II) Sülfat	Eş Zamanlı Mordanlama
32	10% Kara Havuç	%10 Demir (II) Sülfat	Ön Mordanlama

Renk ölçümü

Boyanan kumaşlar için renk ölçümleri Datacolor 1050 model spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler CIELab renk uzayına göre D65 gün ışığı altında 10° standart gözlemci kullanılarak 6,6 mm açıklıkta yapılmıştır. Her bir boya için maksimum absorpsiyon dalga boyunda (λ_{max}) görünür spektrumdaki (400–700 nm) yansıma değerlerinden (R), numunelerin karşılık gelen renk gücü (K/S) değerleri incelenmiştir (Park, 1993).

Yıkama haslığı

ISO 105-C06:2012 A2@40°C (URL-1) standarda göre James Heal marka gyrowash makinesinde yıkama haslığı testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar gri skalaya göre değerlendirilmiştir.

Su haslığı

ISO 105-E01:2013 (URL-2) standarda göre NÜVE marka etüvde su haslığı testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar gri skalaya göre değerlendirilmiştir.

Sürtme Haslığı

ISO 105X12:2006 (URL-3) standardına göre JAMES HEAL marka sürtünme haslığı test cihazında yapılmıştır. Sonuçlar gri skalaya göre değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. CIE $L^*a^*b^*$ Spektrofotometre Sonuçları

Farklı boya oranlarında, iki farklı mordan malzemesiyle, ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama prosesleri uygulanarak yapılan 32 adet deneme sonucunda pancar dışında diğer 3 gıda boyasının kumaşa bağlanması sağlanmıştır. Zerdeçal gıda boyası ile sarı ve kahve tonları, klorofil gıda boyası ile yeşil, kara havuç gıda boyası ile mavi renkler elde edilmiştir. Elde edilen renklere ait CIE $L^*a^*b^*$ değerleri Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. CIELAB'daki CIE, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun Fransızca adı olan Commission Internationale de l'Éclairage'in kısaltmasıdır. L^* , a^* ve b^* harfleri, CIELAB renk uzayının objektif rengi ölçmek ve renk farklılıklarını hesaplamak için kullandığı üç değer her birini temsil eder. L^* , sıfırdan 100'e kadar bir ölçekte siyahtan beyaza açıklığı temsil ederken, a^* ve b^* belirli bir sayısal sınır olmaksızın renkliliği temsil eder. Negatif a^* yeşile, pozitif a^* kırmızıya, negatif b^* maviye ve pozitif b^* sarıya karşılık gelir (URL-4). Boyanan numunelere ait görüntüler Şekil 4'te verilmiştir. Yapılan ilk değerlendirmede ön mordanlama yapılarak boyanan tüm kumaşlarda abrajlı görünümün eş zamanlılara kıyasla ciddi oranda yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ön mordanlama işleminde kumaşın katyonikleştirilmesi ve doğrudan boya banyosuna alındığında boyarmaddelerin kontrolsüzce kumaş yüzeyine bağlanması olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Zerdeçal ile boyanan kumaşların CIE $L^*a^*b^*$ değerleri

Kumaş Kodu	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*	K/S
1	86,45	3,73	43,98	44,14	85,15	1,013
2	85,40	4,21	47,55	47,74	84,94	1,283
3	82,04	5,81	55,41	55,72	84,01	2,225
4	75,41	17,28	77,63	79,53	77,45	8,733
5	82,37	3,59	32,98	33,17	83,78	0,838
6	68,89	9,24	35,22	36,41	75,31	2,324
7	67,76	9,69	36,77	38,21	74,22	2,680
8	61,48	10,39	31,60	33,06	72,95	3,330

Zerdeçal ile boyanmış 1-2-3-4-5-6-7-8 kodlu kumaşlar diğer gıda boyaları ile boyanan kumaşlarla

karşılaştırıldığında %1 boya oranıyla bile renk veriminin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ghoreishian ve ark. yaptığı çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da mordan olarak şapın kullanıldığı proseslerde sarı renkler elde edilirken, mordan malzemesi olarak demir (II) sülfatın kullanıldığı numunelerde kahverengi renkler elde edilmiştir (Ghoreishian et al., 2013). Şap mordanı kullanılarak yapılan boyamalarda 1 ve 3 kodlu eş zamanlı mordanlama yapılan kumaşlar, sıra ile 2 ve 4 kodlu ön mordanlama yapılan kumaşlar ile karşılaştırıldığında Tablo 2'deki K/S değerine bakılarak ön mordanlamada renk veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Demir (II) sülfat ile yapılan boyamalarda 5 ve 7 kodlu eş zamanlı mordanlama yapılarak boyanmış kumaşlar sırası ile 6 ve 8 kodlu ön mordanlama yapılarak boyanan kumaşlarla karşılaştırıldığında ön mordanlama yapılan kumaşların daha koyu olduğu görülmüştür. Hem kumaş görüntüleri hem de K/S değeri değerlendirildiğinde en koyu boyanan kumaşın 8,733 K/S değeri ile 4 kodlu kumaş olduğu görülmüştür. Ön mordanlama prosesi ve demir (II) sülfat ile boyanan 8 nolu kumaş kahverengi olduğundan diğer kumaşlara göre daha kırmızıdır, a^* değerinin yüksek olması da bu sonucu doğrulamaktadır. b^* değerlerine bakıldığında ise en sarı olan kumaşın şap mordanı ile ön mordanlama prosesi ile boyanmış 4 kodlu kumaş olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Klorofil ile boyanan kumaşların CIE $L^*a^*b^*$ değerleri

Kumaş Kodu	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*	K/S
9	92,92	-2,41	7,25	7,64	108,42	0,091
10	73,54	-10,62	15,30	18,65	124,73	1,531
11	87,24	-4,59	8,14	9,34	119,73	0,214
12	66,89	-12,72	10,78	16,67	139,70	2,427
13	89,61	-1,18	12,17	12,23	95,52	0,217
14	75,02	-7,41	14,71	16,48	116,74	1,366
15	85,97	-3,44	12,12	12,60	105,83	0,344
16	73,07	-9,71	10,52	14,32	132,72	1,379

Klorofil pigmenti ile gerçekleştirilen boyamalarda Şekil 4'te görüldüğü gibi özellikle ön mordanlama prosesi ile boyanmış 10-12-14 ve 16 kodlu kumaşlarda yeşil renkler elde edildiği, 9-11-13 ve 15 kodlu kumaşların renk alımlarının ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi klorofil pigmentinin asidik pH değerlerinde stabil olmaması (Khatir et al., 2015) ve eş zamanlı mordanlama yapılan boyama banyolarının pH değerlerinin 4 civarında olmasıdır (Rodriguez, 2016). Benzer şekilde Tablo 3 incelendiğinde ön mordanlama yapılmış kumaşların K/S değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. 12 nolu kumaş 2,427 K/S değeri ile en yüksek renk verimine sahiptir. Bu kumaşın 66,89 ile en düşük L^* değerine sahip olması ve -12,72 ile en düşük a^* değerine sahip olması klorofil ile boyanmış kumaşlar arasında en koyu ve en yeşil renk olmasını kanıtlamaktadır.

Tablo 4. Pancar ile boyanan kumaşların CIE $L^*a^*b^*$ değerleri

Kumaş Kodu	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*	K/S
17	94,71	-0,41	5,14	5,16	94,51	0,037
18	94,58	-0,78	4,52	4,58	99,82	0,042
19	89,01	0,17	7,05	7,05	88,65	0,121
20	93,88	-0,29	6,53	6,53	92,52	0,056
21	90,40	1,87	13,55	13,97	82,32	0,194
22	93,55	1,65	14,85	14,94	83,65	0,205
23	89,11	2,23	15,07	15,07	15,23	0,248
24	89,58	0,27	8,28	8,29	88,11	0,131

Pancar ile gerçekleştirilen boyamalarda Şekil 4'te görüldüğü gibi renk verimi elde edilmemiştir. Bunun sebebinin 80°C gibi yüksek sıcaklıkların betalain pigmentinin hidrolizine neden olmasıdır. Ayrıca literatür incelendiğinde betalainlerin stabilitesinin düşük olduğu belirtilmiştir (Özyurt vd., 2019). Şekil 4'e bakıldığında mordan malzemesi olarak demir (II) sülfat kullanıldığında, kumaşlarda mordan malzemesinden gelen sarılık olduğu görülmektedir. Tablo 4'te belirtilen b^* değerleri incelendiğinde 21-22-23-24 kodlu demir (II) sülfat ile işlem gören kumaşların 17-18-19-20 kodlu şap ile işlem gören kumaşlara göre daha sarıda çıkması bunu ispatlamaktadır.

Tablo 5. Kara Havuç İle Boyanan Kumaşların CIE $L^*a^*b^*$ Değerleri

Kumaş Kodu	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*	K/S
25	93,35	-0,44	4,93	4,95	95,06	0,049
26	91,08	-0,46	5,45	5,47	94,79	0,076
27	85,66	0,01	4,04	4,04	89,88	0,144
28	87,07	-0,09	2,54	2,54	92,14	0,098
29	90,44	0,82	11,54	11,57	85,95	0,165
30	90,17	0,51	10,71	10,72	87,27	0,158
31	77,91	-0,31	4,65	4,66	93,81	0,339
32	89,86	-0,05	5,00	5,00	90,58	0,088

Kara havuç antosiyenin pigmenti içermektedir ve antosiyenlerin gıda boyasında kullanılması önündeki en büyük engel, dayanıksız bir yapıda olmasıdır. Termal işlemler, pH değişimleri kullanımını kısıtlamaktadır (Demirci, vd., 2022). Dayanıksız yapısı dolayısıyla Şekil 4'te görüldüğü gibi özellikle %1 boya oranında boyanan 25-26-29 ve 30 kodlu kumaşların kara havuç ile boyanmadığı görülmüştür. Boyama prosesleri incelendiğinde eş zamanlı mordanlama ile gerçekleştirilen boyama banyolarının renginin pembe-kırmızı olduğu; ancak bu kumaşların boyama sonrası yapılan yıkama banyolarında renksizleştiği görülmüştür. Bunun sebebinin antosiyenlerin pH değişimlerine dayanıksız olmasıdır (Nabi et al., 2023).

Pancarda elde edilen sonuçlara paralel şekilde demir (II) sülfat ile boyanan %1'lik kumaşlar şap ile boyanan kumaşlara göre daha sarıdadır. Demir (II) sülfatın kumaşlara sarılık verdiği bu çalışma ile de ispatlanmaktadır. 27-28 ve 31-32 kodlu kumaşlar incelendiğinde eş zamanlı mordanlama prosesi ile boyanan 27 ve 31 kodlu kumaşların renk veriminin yüksek olması kara havucun en uygun eş zamanlı mordanlama yöntemi ile boyanacağını göstermektedir. 77,91 L^* değeri ve 0,339 K/S değeri ile en koyu renk 31 kodlu %10 kara havuç ve %10 demir (II) sülfat ile eş zamanlı olarak boyanan kumaşta elde edilmiştir.

ZERDEÇAL		KLOROFİL		PANCAR		KARAHAVUÇ	
1		9		17		25	
2		10		18		26	
3		11		19		27	
4		12		20		28	
5		13		21		29	
6		14		22		30	
7		15		23		31	
8		16		24		32	

Şekil 4. Boyanan kumaşların görüntüleri

Haslık Sonuçları

Boyanan kumaşların yıkama haslığı, su haslığı ve sürtme haslıkları kontrol edilmiştir. Çıkan sonuçlar Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 6. Zerdeçal ile boyanan kumaşların fiziksel test sonuçları

	Yıkama Haslığı		Su Haslığı		Sürtme Haslığı	
	ISO 105-C06:2012 A2@40°C		ISO 105-E01:2013		ISO 105X12:2006	
	CC	CS	CC	CS	YAŞ	KURU
1	1	3	4	3/4	4	2/3
2	2	2/3	4	2/3	2/3	2/3
3	2	2/3	4	2/3	3/4	2/3
4	3/4	2	4	2	2	1/2
5	2	4	4	3/4	4	3/4
6	2	2/3	4	2/3	2/3	2
7	2	2/3	4	2/3	3/4	2
8	2	2/3	4	2	3	2/3

Tablo 6'da zerdeçal ile yapılan boyamaların haslık sonuçları incelendiğinde, mordan malzemesi olarak şap

kullanılan 1-2 ve 3-4 kodlu kumaşlarda yıkama haslığı renk değişimi (CC) değerlerinin ön mordanlama yapılan 2 ve 4 nolu kumaşlarda daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin boyarmaddenin kumaşa daha iyi bağlanması olduğu düşünülmektedir. Kirletme değerlerine (CS) bakıldığında ön mordanlama yapılan 2 ve 4 kodlu kumaşta eş zamanlı mordanlamaya göre ½ puan daha geride olduğu görülmekte, bunun sebebinin ise renklerin daha koyu olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İyi haslık sonuçları elde etmek için düşük boyarmadde oranlarında demir (II) sülfat ile eş zamanlı mordanlama yapılması gerektiği görülmektedir.

Tablo 7. Klorofil ile boyanan kumaşların fiziksel test sonuçları

	Yıkama Haslığı		Su Haslığı		Sürtme Haslığı	
	ISO 105-C06:2012 A2@40°C		ISO 105-E01:2013		ISO 105X12:2006	
	CC	CS	CC	CS	YAŞ	KURU
9	1/2	4/5	3/4	4/5	4/5	4
10	1/2	4	4/5	4	4	3
11	1/2	4/5	4	4/5	4	4
12	3/4	4/5	4	3/4	4/5	4
13	1/2	4/5	4	4/5	4	4
14	3/4	4/5	4	4	4/5	4
15	3	4/5	4	4/5	4	4
16	3/4	4/5	4	4	4/5	4

Klorofil ile ilgili yapılan çalışmaların haslık sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. En iyi haslık değerlerinin demir (II) sülfat mordanı kullanılarak gerçekleştirilen boyamalar olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra ön mordanlama yapılan 14-16 kodlu kumaşların haslık değerleri, eş zamanlı mordanlama yapılan 13-15 kodlu kumaşlardan daha iyidir.

Tablo 8. Pancar ile boyanan kumaşların fiziksel test sonuçları

	Yıkama Haslığı		Su Haslığı		Sürtme Haslığı	
	ISO 105-C06:2012 A2@40°C		ISO 105-E01:2013		ISO 105X12:2006	
	CC	CS	CC	CS	YAŞ	KURU
17	3/4	4	4	4/5	4/5	4/5
18	3	4/5	3/4	4/5	4/5	4/5
19	4	4/5	4/5	4/5	4	4
20	4	4/5	4	4/5	4/5	4/5
21	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
22	3/4	4/5	4	4/5	4/5	4/5
23	4	4/5	4	4/5	4/5	4/5
24	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Tablo 8’de görüldüğü gibi haslık değerleri en iyi pancar ile boyanan kumaşlarda elde edilmiştir. Bunun nedeni pancar ile renk veriminin elde edilmemesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 9. Kara havuç ile boyanan kumaşların fiziksel test sonuçları

	Yıkama Haslığı		Su Haslığı		Sürtme Haslığı	
	ISO 105-C06:2012 A2@40°C		ISO 105-E01:2013		ISO 105X12:2006	
	CC	CS	CC	CS	YAŞ	KURU
25	4	4/5	4	4/5	4/5	4/5
26	3/4	4/5	4	4/5	4/5	4
27	1/2	4/5	4	4/5	4/5	4/5
28	2	4/5	4	4/5	4/5	4/5
29	3/4	4/5	4	4/5	4/5	4/5
30	4	4/5	4	4/5	4/5	4/5
31	1/2	4/5	4	4/5	4/5	4/5
32	3	4/5	4	4/5	4/5	4/5

Kara havuç ile boyanan kumaşların haslık sonuçları incelendiğinde, Tablo 9'da görüldüğü gibi su haslığı ve sürtme haslıklarında oldukça iyi değerler elde edilmiştir. Yıkama haslıklarında renk değişim değerlerinin kötü olmasının sebebi boyarmaddenin ağartıcılara dayanımının olmayışındır. 25-26-29-30 kodlu kumaşların haslık değerlerinin iyi çıkmasının sebebi kumaşların zaten boya almadığından renklerinin açık olmasıdır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Zerdeçal ile yapılan çalışmalarda farklı mordan malzemeleri kullanılarak farklı renkler elde edildiği görülmüştür. Şap ile sarı renk elde edilirken, demir (II) sülfat ile kahverengi elde edilmiştir. 77,63 b* değeri ile en koyu sarı 4 numaralı %10 zerdeçal, %10 şap ile ön mordanlama prosesi ile elde edilmiş, aynı şekilde en koyu kahverengi de 61,48 L* değeri ile 8 numaralı %10 zerdeçal, %10 demir (II) sülfat ile ön mordanlama prosesi ile elde edilmiştir. En iyi renk verimi olan zerdeçalın haslıklar incelendiğinde en koyu sarı olan 4 numaralı kumaşın kirlenme değerlerinin (CS) 2, kuru sürtme haslığının $\frac{1}{2}$ olduğu görülmüştür. İyi haslık sonuçları elde etmek için düşük boyarmadde oranlarının denenebileceği düşünülmektedir.

Klorofil ile yapılan eş zamanlı mordanlama denemelerinde banyo pH'nın 3,1-3,7 civarında olması ve klorofilin asidik ortamda renk verimi vermemesi nedeniyle renk elde edilmemiştir. Ön mordanlama ile yapılan çalışmalarda hem şap hem demir (II) sülfat ile en koyu yeşil renkler ve iyi haslık değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Özellikle 2,427 K/S değeri ile en koyu yeşil elde edilmiş %10 şap, %10 klorofil ile ön mordanlama proselinin haslık değerleri en düşük $\frac{3}{4}$ olduğundan kumaş boyamada rahatlıkla kullanılabilir.

Pancar gıda boyası kullanılarak yapılan çalışmalarda betalainin sıcaklıkla hidrolize olması nedeniyle renk verimi elde edilememiştir. Bu sebeple soğukta uzun süreli yapılan boyama proseleri denenebilir. %10 şap ve %10 kara havuç ile eş zamanlı mordanlama (27) ve ön mordanlama (31) yapılan denemelerde K/S değerleri sırasıyla 0,144 ve 0,098 olarak bulunmuştur. Demir (II) sülfat ile yapılan denemeler incelendiğinde kara havuç ile elde edilen en yüksek K/S değeri 0,339 %10 demir (II) sülfat %10 kara havuç ile eş zamanlı uygulanan boyamada görülmüştür. Kara havucun dayanıksız yapısı gıda boyalarında kullanımının kısıtlı olmasına neden olduğu gibi tekstil sektöründe de kullanımı kısıtlı olabileceği görülmüştür. Yıkama sonrası renk değişim değeri dışındaki tüm haslık değerleri oldukça iyidir. Yıkama proselerinde ağartıcıların kullanılmamasıyla bu değerlerin iyileştirilebileceği öngörülmektedir. Sonuç olarak gıda boyalarının tekstil kumaşlarına uygulanabileceği sonucuna ulaşılmış, bu kapsamda farklı gıda boyaları için farklı proseler ile boyama yapılabilmesi görülmüştür. Zerdeçal ve klorofil ön mordanlama prosesiyle en iyi renk verimi elde etmişken, kara havuç eş zamanlı mordanlamada daha iyi boyanmıştır. Çalışma kapsamında mordan malzemeler %10 oranında kullanılmıştır. Bu oran özellikle zerdeçalda renk veriminin yüksek olması nedeniyle ilerleyen çalışmalarda %3, %5 gibi oranlarda denenebilir. Aynı şekilde pancar gıda boyasından renk verimi elde edilmediğinden mordan malzemesinin %15, %20 ve boyanın %15, %20 gibi daha yüksek oranlarında boyama denemeleri gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada sentetik boyaların kullanılmamasının yanı sıra doğal gıda boyalarının antioksidan, antibakteriyel, antikanserijen faydalarının kumaşa kazandırılmış olması beklenmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Batool F., Iqbal N., Azeem M., Adeel S., & Ali M. (2019). Sustainable dyeing of cotton fabric using black carrot (*daucus carota* l.) plant residue as a source of natural colorant. *Pol. J. Environ. Stud.*, 28(5), 3081-308.
- Benli H. (2020). Coloration of cotton and wool fabric by using bio-based red beetroot (*beta vulgaris* l.). *Journal of Natural Fibers*.
- Demirci, Ş. N., Metin, B. & Demirci, M. (2022). Antosiyanin Stabilite Artırma Metotları: Fenolik Kopigmentasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 276-281.
- Ghoreishian S. M., Maleknia L., Mirzapour H. & Norouzi M. (2013). Antibacterial properties and color fastness of silk fabric dyed with turmeric extract. *Fibers and Polymers*, 14(2), 201-207.
- Hosen, M. D., Rabbi, M. F., Raihan, M. A. & Al Mamun, M. A. (2021). Effect of turmeric dye and biomordants on knitted cotton fabric coloration: A promising alternative to metallic mordanting. *Cleaner Engineering and Technology*, 3.

- Khatri A., Peerzada M. H., Mohsin M. & White M. (2015). A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. *Journal of Cleaner Production*, 87, 50–57.
- Martins N., Roriz C., L., Morales P., Barros L. & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Coloring attributes of betalains: A key emphasis on stability and future applications. *Food and Function*, 8(4), 1357-1372.
- Nabi, B. G., Mukhtar, K., Ahmed, W., Manzoor, M. F., Ranjha, M. M. A. N., Kieliszek, M., Bhat, Z. F. & Aadil, R. M.(2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. *Food Bioscience*, 52.
- Onal A., Tombul K. C. & Nached S. (2020). Investigation of dyeing properties of different fabric species with curcuma longa extracts. *Revue Roumaine de Chimie*, 65(11), 983-988.
- Önal, A. (1996). Extraction of Dy action of Dyestuff F estuff From Madder Plant (Rubia tinctorum L.) orum L.) and Dyeing of W eing of Wool, Feathered-Leather and Cott ed-Leather and Cotton. *Turkish Journal of Chemistry*, 20(3), 204-213.
- Özyurt V. H., Saralı H. & Ötleş S. (2019). Betalain ekstraktlarının gıdalarda kullanım olanakları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(7), 864-870.
- Park, J.(1993). Instrumental colour formulation: A practical guide. *West Yorkshire, UK: The Society of Dyers and Colourists*.
- Rahman M., Ireen S., Biswas J. & Alam N. (2020). Effects of different mordants used in turmeric dyeing with cotton fabric. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29(4), 1184-1188.
- Ravichandran K., Saw N. M. M. T., Mohdaly A. A. A., Gabr A. M. M., Kastell A., Riedel H., Cai Z., Knorr D. & Smetanska I. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International*, 50, 670–675.
- Rodriguez D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20-26.
- Stintzing F. C. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalain in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 19-38.
- Tilak J. C., Banerjee M., Mohan H. & Devasagayam T. P. A. (2004). Antioxidant availability of turmeric in relation to its medicinal and culinary uses. *Phytother. Res.*, 18, 798–804.
- Turgay Ö. & Çelik E. (2016). Kırmızı biberden pigment ekstraksiyonunda kullanılan yöntemler. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 184-188.
- URL-1 ISO 105-C06:2012 A2@40oC. Textile test for colour fastness – Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- URL-2 ISO 105-E01:2013. Textile test for colour fastness – Part E01: Colour fastness to water, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- URL-3 ISO 105X12:2006. Textile test for colour fastness – Part X12: Colour fastness to rubbing, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- URL-4 What is CIELAB Color Space?["What is CIELAB Color Space?" [Online]. Available: <https://www.hunterlab.com/blog/what-is-cielab-color-space/>.
- Yılmaz Şahinbaşkan, B., Karadağ, R. & Torgan, E. (2018). Dyeing of silk fabric with natural dyes extracted from cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) and gall oak (*Quercus infectoria* Olivier). *Journal of Natural Fibers*, 15(4), 559-574.

Karadeniz Bölgesi Yağış, Sıcaklık ve Rüzgar Hızı Parametrelerinin Homojenliklerinin ve Eğilimlerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of The Homogeneity and Trends of Precipitation, Temperature and Wind Speed Parameters in The Black Sea Region

Gürkan KIR¹, Aslı ÜLKE KESKİN¹, Utku ZEYBEKOĞLU²

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Atakum, Samsun¹
Sinop Üniversitesi, Boyabat Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 57200 Boyabat, Sinop²

Doi: 10.51764/smutgd.1260628

Geliş Tarihi :06.03.2023

ÖZET

Kabul Tarihi :28.05.2023

Son yıllarda küresel iklim değişikliği etkilerinden kaynaklanan afet sayılarında hissedilebilir bir artış görülmektedir. Bu kapsamda iklim değişikliği etkilerini azaltmak amacıyla ülkemizde ve dünyada çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmada, Karadeniz bölgesindeki 31 istasyona ait yağış, sıcaklık ve rüzgar hızı serilerinin homojenlikleri ve eğilimleri araştırılmıştır. Ayrıca olası eğilimlerin homojenliği bozduğu düşünülerek değerlendirmelerde bulunulmuştur. Homojenlik analizinde Mutlak homojenlik testleri olarak bilinen Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Buishand Aralık Testi (BRT), Pettitt Testi (PT) ve Von Neumann Oran Testi (VN) kullanılmıştır. İstasyonların olası eğilimleri ise Spearman'ın Rho (SR) ve Mann Kendall (MK) testleri kullanılarak araştırılmıştır. Homojenlik analizi sonuçlarına göre 30 istasyonun yağış serileri homojenken, rüzgar hızı sonuçlarında üç istasyon homojen olarak belirlenmiştir. İstasyonlara ait sıcaklık serileri incelendiğinde tüm istasyonlarda homojenliğin bozulduğu belirlenmiştir. Eğilim analizi sonuçlarına göre özellikle sıcaklık serilerinde belirlenen anlamlı artış eğilimleri küresel iklim değişikliğinin bir etkisi olarak bölgenin zamanla ısınmaya başladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Eğilim Analizi, Homojenlik Analizi, Karadeniz, Yağış, Sıcaklık, Rüzgar Hızı.

ABSTRACT

In recent years, there has been a noticeable increase in the number of disasters caused by the effects of global climate change. In this context, various studies are carried out in our country and in the world in order to reduce the effects of climate change. In the study, homogeneities and trends of precipitation, temperature and wind speed series of 31 stations in the Black Sea region were investigated. In addition, evaluations were made considering possible tendencies to disrupt homogeneity. In homogeneity analysis, Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Buishand Range Test (BRT), Pettitt Test (PT) and Von Neumann Ratio Test (VN), known as Absolute homogeneity tests, were used. Possible trends of stations were investigated using Spearman's Rho (SR) and Mann Kendall (MK) tests. According to the results of the homogeneity analysis, while the precipitation series of 30 stations were homogeneous, three stations were determined as homogeneous in the wind speed results. When the temperature series of the stations were examined, it was determined that the homogeneity was impaired in all stations. According to the results of the trend analysis, the significant increase trends determined especially in the temperature series show that the region started to warm up over time as an effect of global climate change.

Keywords: Trend Analysis, Homogeneity Analysis, Black Sea Region, Precipitation, Temperature, Wind Speed.

Utku ZEYBEKOĞLU, Orcid: 0000-0001-5307-8563, utkuz@sinop.edu.tr
Aslı ÜLKE KESKİN, Orcid: 0000-0002-9676-8377, asli.ulke@omu.edu.tr
Gürkan KIR, Orcid: 0000-0001-8156-9431, grkn.kr@icloud.com

GİRİŞ

Yağış, sıcaklık ve rüzgâr gibi çeşitli meteorolojik parametrelerin ekstrem değerleri olarak tanımlanan iklim, belirli bir zaman aralığında belirli bir konum için atmosferin kolektif durumudur (Demircan vd., 2017). Bu kolektif yapıya ait parametrelerin uzun dönem ortalamalarında 1950'li yılların ortalarına kadar değişim olmadığı kabul edilmekteydi. 20. yüzyıla doğru ilerlerken sanayi alanında yaşanan hızlı gelişmeler; doğal kaynakların plansızca tüketilmesine, çevre kirliliğinin insan sayısı ile orantılı olarak artmasına ve atmosfere yoğun miktarda sera gazı salınımına neden olmuştur. Bu doğrultuda atmosferde ısı tutma özelliğine sahip sera gazı, zamanla iklim parametrelerinde değişiklikler meydana getirmeye başlamıştır. İklim parametrelerinde meydana gelen bu değişiklikler küresel iklim değişikliği olarak adlandırılmaktadır. (Özkoca, 2015; Türkeş, 2010).

Küresel ölçekte gerçekleşen iklim değişikliği yerelde etkilerini taşkın, sel, kuraklık ve fırtına gibi farklı afetler şeklinde göstermektedir. Son yıllarda birçok makaleye konu olan küresel iklim değişikliğinin gün geçtikçe etkisini arttırması insan hayatını ekonomik ve sosyal alanda olumsuz etkilemektedir. Bu doğrultuda gerek ülkemizde gerekse farklı coğrafyalarda iklim değişikliğini iklim parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek ve bu kapsamda önlemler almak için gerçekleştirilen çalışmalar giderek önem kazanmaktadır (Jones vd., 1986; Abtey vd., 1993; Bffoni vd., 1999; Brunetti vd., 2001; Partal, 2003; Büyükyıldız, 2004; Bonaccorso vd., 2005; Em, 2005; Panda, 2009; Çiflik, 2012; Çoban, 2013; Liuzzo ve Freni, 2015; Ülke keskin vd., 2018; Aytulun, 2019; Çakmak, 2019; Yılmaz vd., 2021; Zeybekoğlu ve Aktürk, 2022; Gündüz ve Zeybekoğlu 2022a, b). Longobardi ve Villani (2010), güney İtalya'daki Campania bölgesinde yer alan 211 istasyona ait yağış serilerinin hoojenlikle ve eğilimlerini incelemişlerdir. 160 istasyona ait veriler homojen, 42 istasyondaki verilerin homojenliği şüpheli, 9 istasyondaki verilerin ise homojen olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca toplam istasyonların %9'unda artan yönde, %27'sinde ise azalan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Adarsh ve Reddy (2014), Güney Hindistan bölgesinde yer alan Kerala, Tamil Nadu, Kuzey İç Karnataka ve Telangana eyaletlerinin yağış verilerini analiz etmişlerdir. Tamil Nadu, Kuzey İç Karnataka ve Telangana eyaletlerindeki istasyonlarda artış eğilimi, Kerala eyaletindeki istasyonlarda ise azalan bir eğilim belirlenmiştir. Swain vd. (2015), Hindistan'ın Chhattisgarh eyaletinin Raipur bölgesine ait aylık yağış verilerine MK ve Sen'in Trend Eğim metodu uygulamıştır. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için yağış verilerinde azalma eğilimi belirlenmiştir. Elouissi vd. (2016), Cezayir'in Macda havzasına ait aylık yağış verilerini yenilikçi eğilim analizi ile değerlendirmişlerdir. Macda havzasının Akdeniz kıyılarına yakın kuzey kesimlerinde azalan, güney kesimlerinde ise artan yönde eğilimlerin olduğu görülmektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye değişken bir topoğrafyaya sahiptir. Bu nedenle Türkiye iklim özellikleri bakımından karmaşık bir yapıya sahip olup iklim değişikliğinden farklı şekillerde etkilenmektedir. Ülkemiz, dünyada iklim değişikliğinden etkilenen ülkeler arasında üst sıralarda yer almaktadır (Öztürk, 2002). Partal ve Kahya (2006), Türkiye'nin yağış verilerini MK kullanarak analiz etmişlerdir. Yıllık toplam yağış serilerinde azalan trendler tespit edilmiştir. Ayrıca Ocak, Şubat ve Eylül aylarında önemli azalan eğilimler belirlenmiştir. Azalan bu eğilimler daha çok Türkiye'nin batı ve güney kesimlerinde görülmektedir. Ercan ve Yüce (2017), Kızılırmak havzasında bulunan 36 istasyona ait yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verilerini analiz etmiştir. MK testinden yararlanılmıştır. Yıllık toplam yağış verileri için istasyonlarının büyük bir kısmında anlamlı eğilimlere rastlanmamıştır. Yıllık ortalama sıcaklık verilerinde ise %95 güven düzeyinde artan eğilimler tespit edilmiştir. Hadi ve Tombul (2018), Türkiye'de il merkezlerinde bulunan 81 istasyona ait aylık yağış ve sıcaklık verileri ile eğilim analiz çalışması gerçekleştirmişlerdir. Eğilimin büyüklüğü Theil-Sen, değişim yılı ise Pettitt-Mann-Whitney testi yardımıyla tespit edilmiştir. Türkiye'nin tamamı için yıllık yağış verilerinde anlamlı olmayan artış eğilimi, yıllık sıcaklık verilerinde ise anlamlı artış eğilimi belirlenmiştir. Zeybekoğlu ve Karahan (2018), Türkiye'deki 76 ile ait 207 istasyonun farklı periyotlardaki yağış şiddeti verilerinin eğilimlerini MK ve SR kullanarak araştırmıştır. MK yöntemine göre 256 istasyon verisinde artış, 79 istasyon verisinde ise azalış eğilimi gözlemlenmiştir. SR'ye göre 266 istasyon verisinde artış, 79 istasyon verisinde ise azalış eğilimi tespit edilmiştir. Yüce vd. (2018), Seyhan havzasındaki 12 istasyona ait yağış verilerinin eğilimlerini MK, SR, MK Mertebe Korelasyon ve Sen'in Eğim Analiz yöntemini kullanarak araştırmıştır. %95 ve %85 güven düzeylerinde gerçekleştirilen çalışmada Pınarbaşı'nda her iki güven düzeyi için, Çamardı istasyonunda ise yalnızca %85 güven düzeyinde azalan eğilimler belirlenmiştir. Diğer istasyonlarda eğilim tespit edilememiştir. Kankal ve Akçay (2019), araştırmalarında Trabzon ili yağış verilerinin eğilimini analiz etmişlerdir. Trabzon ve Akçaabat'a ait yıllık, mevsimlik ve aylık yağış serileri kullanılmıştır. Verilerin homojenliği Standart Normal Homojenlik ve Von-Neuman testleri ile belirlenmiş ve her iki istasyonunda homojen olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca eğilim analizi için MK ve Sen'in Yenilikçi Eğilim yöntemleri tercih edilmiştir. İki istasyon için ilkbahar ve sonbahar aylarında artan, yaz aylarında ise Akçaabat'ta azalan eğilimler tespit edilmiştir. Ayrıca yıllık yağış verilerinin analizinde Trabzon istasyonunda artan eğilimler görülürken Akçaabat istasyonunda değişmeyen eğilimler tespit edilmiştir. Dalkılıç (2019), Gümüşhane, Erzincan, Bayburt'a ait aylık yağış verilerinin eğilimlerini Sen Eğilim Testi, SR, MK ve Mevsimsel MK yöntemleri ile araştırmıştır. Yaz döneminde bazı ayların yağış eğiliminde azalma, kış döneminde ise bazı ayların yağış eğiliminde artma tespit edilmiştir. Şenocak ve Emek (2019), Doğu Anadolu Bölgesinin yağış verilerini MK, SR ve Sen'in Eğim metotları ile homojenliği ise Run

ve Pettitt testleri ile araştırmıştır. 46 istasyondan 38'inin homojen olduğu tespit edilmiştir. Yağışlarda yaz döneminde genellikle artan yönde eğilimlerin, kış döneminde ise azalan yönde eğilimlerin olduğu sonucuna varılmıştır. Terzi ve İlker (2020), Kızılırmak Havzasında yer alan sekiz ile ait aylık minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık verilerinin eğilimini analiz etmişlerdir. MK kullanılmış olup değişim miktarı Sen'in Trend testi ile belirlenmiştir. Aylık minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık verileri için istasyonların genelinde artış eğilimleri tespit edilmiştir. Aydın ve Öz (2021), Van Gölü Havzasında yer alan dokuz istasyonun yağış ve sıcaklık verilerinin eğilimlerini Şen'in Yenilikçi Eğilim Çözümlemesi, MK, MK Mertebe Korelasyon ve SR aracılığı ile incelemiştir. Ayrıca yöntemi ile eğilim başlangıç yılları belirlenmiştir. Yağış verileri için sadece Erciş ve Ahlat istasyonlarında azalma eğilimi tespit edilmiş olup diğer istasyonlarda değişim görülmemektedir. Sıcaklık verilerinde ise Erciş ve Ahlat'ta değişim görülmemekle birlikte diğer tüm istasyonlarda artma eğilimi tespit edilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye'de 2020 yılında meydana gelen sel, kuraklık ve fırtına afetlerinin illere göre dağılımının yer aldığı "Meteorolojik afetler değerlendirmesi" raporuna göre bu araştırmanın çalışma sahası olarak seçilen Karadeniz Bölgesinde sel, taşkın, kuraklık ve fırtına afetlerinden etkilenmektedir. Karadeniz Bölgesinde çok sayıda taşkın olayının yaşandığı görülmekle birlikte en fazla sel afeti Giresun'da meydana gelmiştir. Bölgede ayrıca Karabük ve Ordu illerinde de çok sayıda sel afeti yaşandığı ifade edilmiştir. Aynı raporda özellikle Batı ve Orta Karadeniz'in iç bölgelerinin kuraklıktan oldukça etkilendiği belirtilmekte olup, Çorum, Amasya ve Tokat civarı kuraklığın en şiddetli yaşandığı yerler olarak dikkat çekmektedir. Fırtına afetinin en fazla Kastamonu, Sinop, Çorum, Tokat, Ordu ve Giresun illerinde meydana geldiği görülmektedir (MGM, 2021).

Bu çalışmada Karadeniz bölgesine ait yağış ve sıcaklık değerlerinin yanı sıra rüzgar hızı değerlerinde dikkate alınmıştır. Belirtilen meteorolojik parametrelerin incelenmesinin temel sebepleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Gerek çalışma sahası olarak seçilen Karadeniz bölgesinde gerekse diğer araştırmalarda yoğun bir şekilde üzere yağış ve sıcaklık parametreleri kullanılmakta olup rüzgar hızı ile gerçekleştirilen çalışmalar yazarların bildiği kadarı ile sınırlıdır.
- Bölgede sıklıkla görülen sel, taşkın, kuraklık ve fırtına afetlerinden dolayı yağış, sıcaklık ve rüzgar hızı gözlemlerinin zaman içerisindeki gidişlerinin (eğilimlerinin) incelenmesi gerekli olup, geleceğe yönelik doğru tahminlerde bulunulabilmesi amacıyla için belirtilen parametrelerin eğilimlerinin yanı sıra homojenliklerinin de incelenmesi elzemdir.

Çalışmada incelenen meteorolojik gözlemlerin homojenlikleri mutlak homojenlik yöntemleri olarak adlandırılan Pettitt (PT), Von Neuman Oran (VN), Buishand Aralık (BRT) ve Standart Normal Homojenlik (SNHT) Testleri kullanılarak tespit edilmiştir. Sonrasında homojenliğin bozulmasının sebebinin olası eğilimler olup olmadığı Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho testleri ile araştırılmıştır.

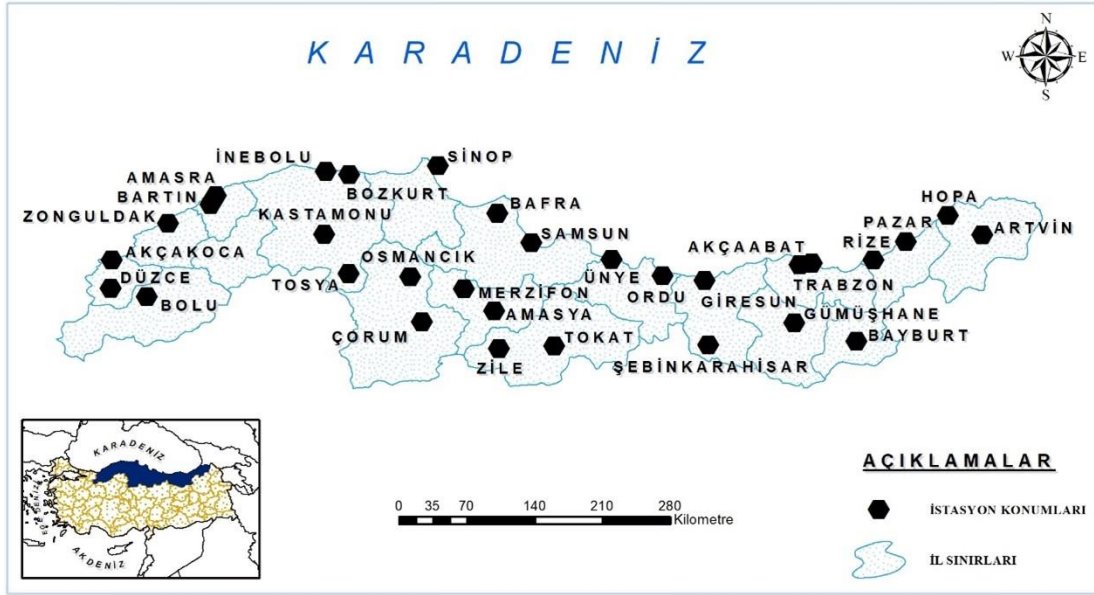
MATERYAL

Bu çalışmada Karadeniz Bölgesinde konumlanan 31 gözlem istasyonuna ait veri setleri kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) temin edilen veri setleri yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama rüzgâr hızından oluşmakta ve periyodları 1982-2020 (39 yıl) yılları arasını kapsamaktadır. Temin edilen verilerin istatistikî açıdan yeterli olabilmesi için en az 30 yıl kayıt uzunluğuna sahip olmasına dikkat edilmiştir (Kite, 1991).

Karadeniz Bölgesi konum olarak Türkiye sınırları içerisinde 40°-42° Kuzey paralelleri ile 30°-42.5° Doğu meridyenleri arasında bulunmaktadır. Karadeniz Bölgesinin yaklaşık yüzölçümü 135.000 km² olmakla beraber Türkiye yüzölçümünün %18'lik bölümünü kapsamaktadır. Adapazarı Ovası ile Gürcistan sınırı arasında yer alan Karadeniz Bölgesi, 1000 km'lik uzantısı ile Türkiye'nin batı-doğu doğrultusunda en uzun bölgesidir. Karadeniz Bölgesinin genel özelliklerini kıyıya paralel olarak uzanan Kuzey Anadolu Dağları belirlemektedir. Bölgenin doğusunda bulunan Kaçkar Zirvesi 3932 m yüksekliği ile Kuzey Anadolu Dağlarının en yüksek noktasıdır. Karadeniz Bölgesinde dağların kıyıya paralel olarak uzanması; kıyılardaki girinti çıkıntılarının az olmasına ve dağların güney - kuzey yamaçları arasındaki iklim karakterlerinin farklılaşmasına neden olmaktadır. Bölgenin kıyı kesimlerinde deniz faktöründen kaynaklı nem oranı yüksek olup ısı farkları artış göstermemektedir. Kuzey Anadolu Dağlarının yükseltisi sebebiyle deniz etkisinin ulaşmadığı iç kesimlerde ise nem oranı düşük olup ısı farklarında artış görülmektedir. Ancak Orta Karadeniz'de yükseltinin azalmasından kaynaklı deniz etkisi iç kesimlere de ulaşabilmektedir (Turak vd., 2011).

Çalışmada kullanılan gözlem istasyonları Karadeniz Bölgesindeki 17 farklı ilde yer almaktadır. İstasyonlardan

11 tanesi Batı Karadeniz’de (Düzce, Akçakoca, Bolu, Zonguldak, Bartın, Amasra, Kastamonu, İnebolu, Kastamonu/Bozkurt, Tosya, Sinop), 10 tanesi Orta Karadeniz’de (Samsun Bölge, Bafra, Çorum, Osmancık, Amasya, Merzifon, Tokat, Zile, Ordu, Ünye), geriye kalan 10 tanesi ise Doğu Karadeniz’de yer almaktadır (Giresun, Şebinkarahisar, Trabzon Bölge, Akçaabat, Gümüşhane, Bayburt, Rize, Rize/Pazar, Artvin, Hopa). Karabük ilinde yer alan istasyonlara ait veriler eksik görülmesi sebebi ile çalışma kapsamında çıkarılmıştır. İstasyonların coğrafyadaki dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Meteoroloji gözlem istasyonlarının dağılımı

İstasyonlara ait bilgiler ve kayıt aralığı Tablo 1’de, veri setlerinin temel istatistikleri ise Tablo 2-4’te verilmiştir.

Tablo 1. İstasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem (K)	Boylam(D)	Rakım (m)	Kayıt Aralığı
Düzce	17072	40°50'37.3"	31°08'55.7"	146	1982-2020
Akçakoca	17015	41°05'22.2"	31°08'14.6"	10	1982-2020
Bolu	17070	40°43'58.4"	31°36'07.9"	743	1982-2020
Zonguldak	17022	41°26'57.3"	31°46'40.5"	135	1982-2020
Bartın	17020	41°37'29.3"	32°21'24.8"	33	1982-2020
Amasra	17602	41°45'09.4"	32°22'57.7"	73	1982-2020
Kastamonu	17074	41°22'15.6"	33°46'32.2"	800	1982-2020
İnebolu	17024	41°58'44.0"	33°45'49.0"	64	1982-2020
Kastamonu/Bozkurt	17606	41°57'34.9"	34°00'13.3"	167	1982-2020
Tosya	17650	41°00'47.5"	34°02'12.1"	870	1982-2020
Çorum	17084	40°32'46.0"	34°56'10.3"	776	1982-2020
Osmancık	17652	40°58'43.3"	34°48'04.0"	419	1982-2020
Sinop	17026	42°01'47.6"	35°09'16.2"	32	1982-2020
Amasya	17085	40°40'00.5"	35°50'07.1"	409	1982-2020
Merzifon	17083	40°52'45.5"	35°27'30.6"	754	1982-2020
Samsun Bölge	17030	41°20'39.0"	36°15'23.0"	4	1982-2020
Bafra	17622	41°33'05.4"	35°55'28.9"	103	1982-2020
Tokat	17086	40°19'52.3"	36°33'27.7"	611	1982-2020
Zile	17681	40°17'45.6"	35°53'25.8"	719	1982-2020
Ordu	17033	40°59'01.7"	37°53'08.9"	5	1982-2020
Ünye	17624	41°08'34.8"	37°17'34.8"	16	1982-2020
Giresun	17034	40°55'21.7"	38°23'16.1"	38	1982-2020
Şebinkarahisar	17682	40°17'13.9"	38°25'09.5"	1364	1982-2020
Gümüşhane	17088	40°27'35.3"	39°27'55.1"	1216	1982-2020
Trabzon Bölge	17037	40°59'54.6"	39°45'53.6"	25	1982-2020
Akçaabat	17626	41°01'57.0"	39°33'41.4"	3	1982-2020
Bayburt	17089	40°15'16.9"	40°13'14.5"	1584	1982-2020
Rize	17040	41°02'24.0"	40°30'04.7"	3	1982-2020
Rize/Pazar	17628	41°10'39.7"	40°53'57.5"	78	1982-2020
Artvin	17045	41°10'30.7"	41°49'07.3"	613	1982-2020
Hopa	17042	41°24'23.4"	41°25'58.8"	33	1982-2020

Tablo 1 incelendiğinde çalışma alanının en doğusunda Artvin (41°49' D), en batısında Akçakoca (31°08' D), en kuzeyinde Sinop (42°01' K), en güneyinde ise Bayburt (40°15' K) istasyonları yer almaktadır. Ayrıca kayıt uzunluğu 39 yıl olan istasyonlardan rakımı en düşük olan 3 metre ile Akçaabat ve Rize istasyonlarıdır. En yüksek rakımlı istasyon ise 1584 metre yükseklik ile Bayburt istasyonudur.

Tablo 2. Yıllık toplam yağış verilerinin temel istatistikleri (mm)

İstasyon	Ortalama	S. Sapma	Min.	Mak.	Varyasyon	Çarpıklık
Düzce	818.43	124.54	527.0	1084.9	0.15	0.05
Akçakoca	1127.62	175.42	742.6	1460.7	0.16	-0.06
Bolu	562.52	87.20	382.5	754.5	0.16	0.05
Zonguldak	1226.74	187.03	818.8	1740.1	0.15	0.76
Bartın	1051.11	161.86	753.1	1350.3	0.15	0.14
Amasra	981.62	180.33	660.6	1412.6	0.18	0.53
Kastamonu	521.17	119.95	338.2	870.5	0.23	0.93
İnebolu	1053.78	136.43	728.0	1330.0	0.13	-0.26
Kastamonu/Bozkurt	1185.50	238.58	498.2	1595.7	0.20	-1.00
Tosya	476.32	100.40	250.8	735.5	0.21	0.34
Çorum	450.19	88.94	242.9	633.8	0.20	0.06
Osmancık	423.41	117.67	234.6	794.4	0.28	0.82
Sinop	718.52	133.87	333.3	1008.1	0.19	-0.30
Amasya	465.32	88.68	293.4	682.0	0.19	0.58
Merzifon	444.35	93.29	225.1	703.3	0.21	0.50
Samsun Bölge	716.47	93.16	562.8	999.1	0.13	0.86
Bafra	763.16	162.47	424.0	1141.4	0.21	0.37
Tokat	444.26	72.10	313.3	593.0	0.16	0.09
Zile	444.82	90.04	237.4	639.0	0.20	0.25
Ordu	1058.36	128.71	787.2	1433.8	0.12	0.64
Ünye	1185.51	160.85	906.6	1532.8	0.14	0.44
Giresun	1308.07	170.71	970.7	1743.4	0.13	1.09
Şebinkarahisar	568.64	91.91	345.8	741.9	0.16	-0.12
Gümüşhane	472.08	84.11	311.0	651.0	0.18	0.34
Trabzon Bölge	846.55	111.99	594.4	1044.6	0.13	-0.39
Akçaabat	721.37	111.71	494.0	1017.4	0.15	0.32
Bayburt	464.34	75.35	318.2	614.6	0.16	-0.03
Rize	2284.35	273.76	1694.0	3097.1	0.12	0.73
Rize/Pazar	2105.38	360.58	1326.8	2905.0	0.17	0.34
Artvin	721.41	132.51	425.1	1005.9	0.18	-0.12
Hopa	2329.73	372.30	1685.3	3379.5	0.16	1.07

Tablo 2 incelendiğinde yıllık toplam yağışların en düşük ortalamasına sahip istasyon 423.41 mm ile Osmancık istasyonudur. En yüksek yıllık toplam yağış ortalamasına sahip istasyon ise 2329.73 mm ile Hopa istasyonudur.

Tablo 3. Yıllık ortalama sıcaklık verilerinin temel istatistikleri (°C)

İstasyon	Ortalama	S. Sapma	Min.	Mak.	Varyasyon	Çarpıklık
Düzce	13.38	0.95	11.45	15.35	0.07	0.28
Akçakoca	13.21	0.93	11.59	15.26	0.07	0.34
Bolu	10.68	0.87	8.70	12.78	0.08	0.15
Zonguldak	13.82	0.84	12.59	15.66	0.06	0.49
Bartın	12.88	0.78	11.36	14.59	0.06	0.30
Amasra	13.98	0.85	12.74	15.73	0.06	0.21
Kastamonu	9.85	0.75	8.33	11.47	0.08	0.20
İnebolu	13.50	1.04	11.98	16.89	0.08	1.19
Kastamonu/Bozkurt	13.39	0.83	12.14	15.46	0.06	0.37
Tosya	11.37	0.89	9.57	13.35	0.08	0.34
Çorum	10.79	0.98	9.00	13.17	0.09	0.63
Osmancık	13.64	0.80	12.17	15.50	0.06	0.50
Sinop	14.46	0.92	13.02	16.70	0.06	0.55
Amasya	13.63	0.95	11.78	15.85	0.07	0.45
Merzifon	11.58	0.86	9.76	13.45	0.07	0.20
Samsun Bölge	14.73	0.90	13.27	16.58	0.06	0.31
Bafra	13.96	0.84	12.47	15.75	0.06	0.20
Tokat	12.60	1.01	10.66	14.90	0.08	0.40
Zile	11.90	1.00	9.96	13.93	0.08	0.13
Ordu	14.73	0.87	13.23	16.63	0.06	0.20
Ünye	14.55	0.88	12.99	16.47	0.06	0.25
Giresun	14.83	0.91	13.31	16.85	0.06	0.47
Şebinkarahisar	9.38	1.07	6.93	12.17	0.11	0.32
Gümüşhane	9.60	1.01	7.33	12.05	0.10	0.65
Trabzon Bölge	15.01	0.91	13.55	16.95	0.06	0.39
Akçaabat	14.65	0.86	13.21	16.57	0.06	0.31
Bayburt	7.23	1.16	4.65	10.08	0.16	0.45
Rize	14.69	0.89	13.14	16.83	0.06	0.30
Rize/Pazar	13.79	0.89	12.02	15.92	0.06	0.46
Artvin	12.24	0.99	10.00	14.53	0.08	0.36
Hopa	14.77	0.98	13.15	16.96	0.07	0.41

Tablo 3 incelendiğinde en düşük yıllık ortalama sıcaklık değerine sahip istasyon 7.23 °C ile Bayburt istasyonudur. En yüksek yıllık ortalama sıcaklık değerine sahip istasyon ise 15.01 °C ile Trabzon Bölge istasyonudur.

Tablo 4. Yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerinin temel istatistikleri (m/sn)

İstasyon	Ortalama	S. Sapma	Min.	Mak.	Varyasyon	Çarpıklık
Düzce	0.98	0.14	0.69	1.18	0.14	-0.45
Akçakoca	1.86	0.25	1.38	2.48	0.14	0.52
Bolu	1.31	0.14	0.63	1.48	0.11	-3.32
Zonguldak	2.34	0.22	1.92	2.94	0.09	0.16
Bartın	1.29	0.17	0.97	1.67	0.13	0.44
Amasra	4.78	0.46	4.03	5.59	0.10	-0.01
Kastamonu	1.34	0.16	1.08	1.76	0.12	0.82
İnebolu	3.56	0.51	2.64	4.33	0.14	-0.32
Kastamonu/Bozkurt	2.21	0.25	1.57	2.89	0.11	0.45
Tosya	1.93	0.36	1.02	3.73	0.19	2.86
Çorum	1.73	0.21	1.18	2.21	0.12	-0.04
Ösmancık	1.06	0.47	0.03	1.72	0.45	-1.00
Sinop	2.84	0.35	1.97	3.61	0.12	-0.09
Amasya	1.57	0.32	1.08	1.99	0.20	-0.25
Merzifon	0.95	0.39	0.23	1.55	0.41	-0.26
Samsun Bölge	2.14	0.31	1.48	2.67	0.15	-0.36
Bafra	2.19	0.46	0.71	3.23	0.21	-1.09
Tokat	2.19	0.16	1.87	2.56	0.07	0.62
Zile	0.51	0.36	0.13	1.18	0.72	0.76
Ordu	1.47	0.22	1.13	1.91	0.15	0.18
Ünye	1.62	0.22	1.25	2.12	0.14	0.75
Giresun	1.24	0.20	0.63	1.47	0.16	-1.56
Şebinkarahisar	0.92	0.49	0.18	1.72	0.53	-0.09
Gümüşhane	1.70	0.15	1.31	1.93	0.09	-1.02
Trabzon Bölge	2.28	0.26	1.52	3.10	0.11	0.05
Akçaabat	1.76	0.37	0.95	2.27	0.21	-0.82
Bayburt	1.67	0.35	1.12	2.21	0.21	-0.16
Rize	1.19	0.22	0.80	1.50	0.19	-0.60
Rize/Pazar	1.84	0.31	1.04	2.28	0.17	-0.93
Artvin	1.71	0.24	0.84	1.98	0.14	-2.81
Hopa	2.32	0.21	1.78	2.72	0.09	-0.41

Tablo 4 incelendiğinde en düşük yıllık ortalama rüzgâr hızına sahip olan istasyon 0.51 m/sn ile Zile istasyonudur. En yüksek yıllık ortalama rüzgâr hızına sahip istasyon ise 4.78 m/sn ile Amasra istasyonudur.

HOMOJENLİK ANALİZİ

Homojenlik analizleri gerçekleştirilirken mutlak ve göreceli olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir. Birbirine uzak ve farklı çevresel koşullara sahip olan istasyonlarda daha iyi sonuçlar verdiği düşünüldüğü için bu çalışmada verilerin homojenliği mutlak homojenlik testleri olarak adlandırılan Standart Normal Homojenlik (Alexandersson, 1986), Buishand Aralık (Buishand, 1982), Pettitt (Pettitt, 1979) ve Von Neumann Oran (Von Neumann, 1941) testleri kullanılarak araştırılmıştır.

Mutlak homojenlik testleri ile veri setindeki her bir verinin ortalamadan sapmasını analiz edilerek homojen olup olmadığı sonucuna varılmaktadır. Veri setinin homojen tespit edilmesi halinde verilerin homojen olmasına dayanan "H₀" hipotezi kabul edilmiş olur. Veri seti homojen değil ise "H₀" hipotezi reddedilir ve verilerin homojenliğini reddeden "H₁" hipotezi kabul edilmiş olur.

Mutlak homojenlik testlerinin sonuçlarına göre veri setinin homojenliği 3 farklı sınıf ile değerlendirilmektedir (Schonwiese & Rapp, 1997; Wijngaard vd., 2003). Bu sınıflar:

- Sınıf 1: Homojen (Belirlenen güven düzeyinde 0 veya 1 test H₀ hipotezini reddederse)
- Sınıf 2: Şüpheli (Belirlenen güven düzeyinde 2 test H₀ hipotezini reddederse)
- Sınıf 3: Oldukça şüpheli (Belirlenen güven düzeyinde 3 veya 4 test H₀ hipotezini reddederse)

Yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama rüzgâr hızı serilerinde homojenlik analizi yapılmış olup güven düzeyi %99 seviyesinde seçilmiştir.

Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)

Alexandersson (1986) tarafından geliştirilen bu yöntem pek çok hidro-meteorolojik çalışmada veri setinin homojenliğini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. SNHT serinin başındaki ve sonundaki kırılmaları tespit etmekte hassas bir yöntemdir (Wijngaard vd., 2003). Bu yöntemde incelenen veri setinin bir "k" noktası referans alınarak seri iki parçaya ayrılır. Daha sonra Denklem 1 ile T(k) değeri hesaplanır. Hesaplanan "T(k)" değeri test istatistiği

olarak adlandırılmaktadır. Hesaplarda kullanılan \bar{y} gözlenen verilerin ortalamasını, y_i her bir yıl için gözlenen verileri, s ise standart sapmayı ifade etmektedir.

$$T(k) = k \bar{z}_1^2 + (N-k) \bar{z}_2^2 \quad k=1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

Burada serinin iki parçası olarak ifade edilen \bar{z}_1 ve \bar{z}_2 değerleri Denklem 2-3 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y}) / s \quad (2)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=k+1}^N (y_i - \bar{y}) / s \quad (3)$$

Kırılmanın meydana geldiği "k" yılında T(k) test istatistiği maksimum değerini alır. Bu durumda Denklem 4 ile T_0 test istatistiği hesaplanır.

$$T_0 = \max_{1 \leq k \leq N} T(k) \quad (4)$$

Tablo 5 yardımı ile veri sayısına bağlı olarak değişen kritik değer tespit edilir. Eğer T_0 , kritik tablo değerini aşmazsa H_0 hipotezi kabul edilir. Yani seri homojendir.

Tablo 5. Veri sayısına (N) bağlı %99 güven düzeyinde T_0 kritik değerleri (Jaruskova, 1996; Wijngaard vd., 2003)

N	20	30	40	50	70	100
%99	9.56	10.45	11.01	11.38	11.89	12.32

Buishand Aralık Testi (BRT)

Buishand tarafından 1982 yılında önerilen bu yöntem serinin ortalarındaki kırılmaları tespit etmekte daha hassastır (Wijngaard vd., 2003). Öncelikle kısmi toplamlar Denklem 5 ile hesaplanır. Hesaplarda kullanılan \bar{y} gözlenen verilerin ortalamasını, y_i her bir yıl için gözlenen verileri, s ise standart sapmayı ifade etmektedir.

$$S^* = 0 \text{ ve } S^*_k = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y}) \quad k=1, 2, 3, \dots, N \quad (5)$$

Veri seti homojen olduğunda S^* değeri 0 olacaktır çünkü y_i 'nin sistematik sapmasının olmayacaktır. Daha sonra düzeltme oranı " \hat{R} ", Denklem 6 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\hat{R} = (\max_{0 \leq k \leq N} S^*_k - \min_{0 \leq k \leq N} S^*_k) / s \quad (6)$$

Son olarak hesaplanan $\hat{R}\sqrt{N}$ değeri Tablo 6'dan veri sayısına bağlı olarak elde edilen kritik değeri aşmazsa H_0 hipotezi kabul edilir. Yani seri homojendir.

Tablo 6. Veri sayısına (N) bağlı %99 güven düzeyinde $\hat{R}\sqrt{N}$ kritik değerleri (Buishand, 1982; Wijngaard vd., 2003)

N	20	30	40	50	70	100
%99	1.60	1.70	1.74	1.78	1.81	1.86

Pettitt Testi (PT)

Bu yöntem Pettitt tarafından 1979 yılında önerilmiştir. Pettitt testi serinin ortalarındaki kırılmaları tespit etmekte daha hassas bir yöntemdir. Aykırı değerlerden minimum seviyede etkilenen bu testte her bir yıl için gözlenen y_i (y_1, y_2, \dots, y_N) değerleri r_1, r_2, \dots, r_N olarak sıralanıp test istatistiği " X_k " Denklem 7 ile hesaplanır.

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(N+1) \quad k=1, 2, 3, \dots, N \quad (7)$$

Kırılmanın meydana geldiği "E" yılında test istatistiği X_k mutlak en büyük değerini alır (Denklem 8).

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq N} |X_k| \quad (8)$$

Eğer hesaplanan X_E , Tablo 7 ile veri sayısına bağlı olarak elde edilen kritik değeri aşmazsa H_0 hipotezi kabul edilir. Yani seri homojendir.

Tablo 7. Veri sayısına (N) bağlı %99 güven düzeyinde X_E kritik değerleri (Wijngaard vd., 2003)

N	20	30	40	50	70	100
%99	71	133	208	293	488	841

Von Neumann Oran Testi (VN)

1941 yılında Von Neumann tarafından geliştirilen bu yöntemde test istatistiği “ \dot{N} ”, Denklem 9 ile hesaplanır. Hesaplarda kullanılan \bar{y} gözlenen verilerin ortalamasını, y_i ise her bir yıl için gözlenen verileri ifade etmektedir.

$$\dot{N} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (y_i - y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

Hesaplanan \dot{N} değerinin Tablo 8 ile veri sayısına bağlı olarak elde edilen kritik değeri aşması halinde H_0 hipotezi kabul edilir. Yani seri homojendir.

Tablo 8. Veri sayısına (N) bağlı %99 güven düzeyinde \dot{N} kritik değerleri (Buishand, 1982, Owen, 1962, Wijngaard vd., 2003)

N	20	30	40	50	70	100
%99	1.04	1.20	1.29	1.36	1.45	1.54

EĞİLİM ANALİZİ

İklim serilerindeki gözlem değerleri zamana bağlı olarak artış veya azalış eğilimleri gösterebilmektedir ve bu eğilimler “trend” olarak adlandırılmaktadır (Helsel ve Hirsch, 1992). Eğilim çalışmalarında kullanılan yöntemler parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Lineerlik, normal dağılım ve bağımsızlık gibi kabullere dayanan parametrik yöntemler iklim değişikliği üzerine yapılan istatistiki çalışmalarda çok fazla tercih edilmezler (Partal, 2003).

Yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama rüzgâr hızı serilerinin eğilimini incelemek amacıyla parametrik olmayan Mann-Kendall ve Spearman’ın Rho testlerinden yararlanılmıştır. Güven düzeyleri %95 ve %99 seviyelerinde seçilen çalışma sonucunda veri setinde eğilim tespit edilmesi halinde eğilimin yokluğu üzerine kurulan “ H_0 ” hipotezi reddedilir.

Mann-Kendall Testi (MK)

Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilmiş parametrik olmayan bir yöntemdir. Bu yöntemde ilk olarak test istatistiği olarak adlandırılan “ \dot{S} ” değeri hesaplanır. Bu amaç doğrultusunda “N” zaman serisinin uzunluğunu ifade etmek üzere gözlem değerleri ilk ölçülen tarihten son ölçülen tarihe kadar sıralanmalıdır ($i=1, \dots, N-1$ e kadar sıralanmış x_i veri sütunu ile $j=i+1, \dots, N$ e kadar sıralanmış x_j veri sütunlarını oluşturacak biçimde). Daha sonra x_i veri sütunu başlangıç olacak şekilde diğer veri sütunu olan x_j ile Denklem 10’daki signum fonksiyonu kullanılarak Denklem 11 ile ifade edilen \dot{S} değeri hesaplanır.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{Eğer } x_j > x_i \\ 0; & \text{Eğer } x_j = x_i \\ -1; & \text{Eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (10)$$

$$\dot{S} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (11)$$

Veri sayısı 10’dan büyük olan serilerde ($N > 10$) varyans hesabı yapılmaktadır (Denklem 12).

$$\text{Var}(\dot{S}) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^P t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (12)$$

Denklem 12' de, P; serideki sayısal değeri eşit olan grupların sayısını, t_i serideki sayısal değeri eşit olan grupların eleman sayılarını ifade etmektedir. Varyans değeri hesaplandıktan sonra, Denklem 13 ile \hat{S} değerinin işaretine göre "Z" hesaplanır.

$$Z = \begin{cases} \frac{\hat{S}-1}{\sqrt{\text{Var}(\hat{S})}}; \text{Eğer } \hat{S} > 0 \\ 0; \text{Eğer } \hat{S} = 0 \\ \frac{\hat{S}+1}{\sqrt{\text{Var}(\hat{S})}}; \text{Eğer } \hat{S} < 0 \end{cases} \quad (13)$$

Daha sonra standart normal dağılım tablosu yardımıyla bu çalışmada seçilen %95 ve %99 güven düzeylerine karşılık gelen kritik Z değerleri tespit edilir. Denklem 13 ile elde edilen Z değerinin mutlak değeri, kritik tablo değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilir. Yani seride eğilimin olmadığı anlamını taşımaktadır (Mann, 1945; Kendall, 1975).

Spearman'ın Rho Testi (SR)

Bu yöntem lineer eğilim varlığının araştırılmasında kullanılan pratik bir yöntemdir. Sıra istatistiği olarak adlandırılan " $R(x_i)$ ", gözlem serisindeki verilerin büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru sıralanması ile tespit edilir. r_s test istatistiği Denklem 14 ile hesaplanmaktadır (Gümüş, 2006; Kahya & Kalaycı, 2004).

$$r_s = 1 - 6 \left[\sum_{i=1}^N (R(x_i) - i)^2 \right] / (N^3 - N) \quad (14)$$

Burada, N; toplam gözlem sayısını, i; verilerin gözlem sırasını, 30'dan fazla verinin bulunduğu serilerde ($N > 30$) r_s dağılımının normale yakınlaşacağı düşünülmektedir. Bu sebeple normal dağılım tabloları kullanılabilir (Gümüş, 2006; İçağa, 1994). Denklem 15 ile "Z" değeri hesaplanır.

$$Z = r_s \sqrt{(N-1)} \quad (15)$$

Eğer |Z| değeri, %95 ve %99 güven düzeylerinde standart normal dağılım tablosundan seçilen kritik Z değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilir. Yani seride eğilimin olmadığı anlamını taşımaktadır (İçağa & Harmancıoğlu, 1995; Sneyers, 1991).

BULGULAR

Homojenlik Analizi Bulguları

Çalışma kapsamında 31 istasyonun 1982-2020 periyodunda kaydedilen yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine %99 güven düzeyinde mutlak homojenlik testleri uygulanmıştır. Tablo 5-8 kullanılarak kritik değerler; SNHT için 10.82, BRT için 1.72, PT için 198.52 ve VN için 1.26 olarak tespit edilmiştir. Homojenlik testlerinin sonuçları yağış, sıcaklık ve rüzgâr hızı serileri için sırasıyla Tablo 9-11'de verilmiştir. Söz konusu tablolarda H_0 hipotezi reddedilen test sonuçları kırmızı renk ile gösterilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde yağış serileri için yalnızca bir istasyonun (Kastamonu/Bozkurt) homojenliği oldukça şüpheli bulunmuş geriye kalan istasyonların hepsi homojen olarak tespit edilmiştir. Kastamonu/Bozkurt istasyonundaki yağış serisinde yaşanan kırılmanın Tablo 12'de tespit edilen anlamlı azalış eğiliminden kaynaklandığı düşünülmektedir (Türkeş vd., 2002; Sezen, 2018).

Tablo 10 incelendiğinde sıcaklık serileri için 2 istasyonun (Osmancık, Merzifon) homojenliği şüpheli bulunurken diğer tüm istasyonların homojenliği oldukça şüpheli olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebinin Tablo 13'e bakıldığında sıcaklık serilerinde yaşanan anlamlı artış eğilimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Türkeş vd., 2002; Sezen, 2018).

Tablo 11 incelendiğinde ise Rüzgâr hızı serileri için 3 istasyon (Bolu, Tosya, Hopa) homojen, 6 istasyonun (Düzce, Kastamonu/Bozkurt, Bafra, Gümüşhane, Trabzon Bölge, Artvin) homojenliği şüpheli ve geriye kalan tüm istasyonların homojenliği oldukça şüpheli olarak tespit edilmiştir. Akçakoca, Zonguldak, Bartın, Amasra, Kastamonu, İnebolu, Kastamonu/Bozkurt, Çorum, Osmancık, Sinop, Samsun Bölge, Tokat, Ordu, Ünye, Giresun, Şebinkarahisar, Bayburt ve Rize istasyonlarındaki homojenliklerin bozulması Tablo 14'te aynı

istasyonlarda tespit edilen anlamlı artış veya azalış eğilimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Düzce, Amasya, Merzifon, Bafra, Zile, Gümüşhane, Trabzon Bölge, Akçaabat, Rize/Pazar ve Artvin istasyonlarındaki kırılmaların ise yer değişikliği, alet ve ayar hataları, ölçüm hataları ve özellikle kıyı bölgelerde yer alan istasyonlarda meydana gelen deniz meltemleri gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Sezen, 2018; Türkes, 1999).

Tablo 9. Yıllık toplam yağış serilerinin homojenlik analizi sonuçları

Istasyon Adı	SNHT	BRT	PT	VN	Yorum
Düzce	4.38	1.40	74.00	1.84	Sınıf 1: Homojen
Akçakoca	8.44	1.40	148.00	1.98	Sınıf 1: Homojen
Bolu	5.80	1.17	172.00	1.78	Sınıf 1: Homojen
Zonguldak	3.16	1.32	130.00	1.98	Sınıf 1: Homojen
Bartın	3.98	1.36	104.00	1.92	Sınıf 1: Homojen
Amasya	3.36	1.50	82.00	1.96	Sınıf 1: Homojen
Kastamonu	7.96	1.57	148.00	1.30	Sınıf 1: Homojen
İnebolu	2.85	0.94	68.00	2.20	Sınıf 1: Homojen
Kastamonu/Bozkurt	21.23	1.86	220.00	1.01	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Tosya	5.31	0.79	74.00	1.52	Sınıf 1: Homojen
Çorum	3.01	0.74	88.00	2.27	Sınıf 1: Homojen
Osmancık	9.18	1.62	184.00	2.01	Sınıf 1: Homojen
Sinop	3.73	1.25	88.00	1.59	Sınıf 1: Homojen
Amasya	3.97	1.42	114.00	1.61	Sınıf 1: Homojen
Merzifon	5.82	1.15	62.00	1.94	Sınıf 1: Homojen
Samsun Bölge	4.52	1.41	110.00	1.72	Sınıf 1: Homojen
Bafra	12.59	1.60	190.00	1.45	Sınıf 1: Homojen
Tokat	9.68	1.64	136.00	1.81	Sınıf 1: Homojen
Zile	10.80	1.60	144.00	1.64	Sınıf 1: Homojen
Ordu	2.12	1.00	100.00	2.38	Sınıf 1: Homojen
Ünye	7.65	1.50	144.00	1.83	Sınıf 1: Homojen
Giresun	3.99	1.17	186.00	2.39	Sınıf 1: Homojen
Şebinkarahisar	9.55	1.33	140.00	1.97	Sınıf 1: Homojen
Gümüşhane	1.58	0.91	72.00	2.22	Sınıf 1: Homojen
Trabzon Bölge	2.27	1.09	124.00	1.68	Sınıf 1: Homojen
Akçaabat	6.50	1.07	214.00	1.69	Sınıf 1: Homojen
Bayburt	5.81	1.17	128.00	1.96	Sınıf 1: Homojen
Rize	4.61	1.22	76.00	1.76	Sınıf 1: Homojen
Rize/Pazar	4.89	1.15	112.00	1.85	Sınıf 1: Homojen
Artvin	6.79	1.37	92.00	2.07	Sınıf 1: Homojen
Hopa	3.97	1.09	126.00	2.00	Sınıf 1: Homojen

Tablo 9’da H_0 hipotezi 31 istasyondan 2’sinde yalnızca 1 testte reddedilmiş; istasyonların 1’inde ise 4 testin tümünde reddedilmiştir.

Tablo 10. Yıllık ortalama sıcaklık serilerinin homojenlik analizi sonuçları

Istasyon Adı	SNHT	BRT	PT	VN	Yorum
Düzce	20.22	2.06	318.00	0.80	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Akçakoca	23.37	2.14	338.00	0.77	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bolu	19.28	2.05	302.00	1.06	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Zonguldak	18.73	1.99	330.00	0.84	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bartın	18.96	1.98	326.00	1.05	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Amasya	20.94	2.08	328.00	0.84	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Kastamonu	19.05	1.81	304.00	1.24	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
İnebolu	18.63	1.90	328.00	0.63	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Kastamonu/Bozkurt	20.76	2.06	330.00	0.94	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Tosya	15.31	1.73	284.00	1.13	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Çorum	16.04	1.75	308.00	1.20	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Osmancık	12.12	1.55	252.00	1.73	Sınıf 2: Şüpheli
Sinop	19.52	2.01	304.00	0.77	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Amasya	17.91	1.87	306.00	1.16	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Merzifon	15.47	1.65	280.00	1.28	Sınıf 2: Şüpheli
Samsun Bölge	22.00	2.11	330.00	0.67	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bafra	21.55	2.21	330.00	0.77	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Tokat	18.07	1.80	298.00	1.16	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Zile	20.01	1.90	300.00	1.21	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Ordu	22.75	2.17	330.00	0.72	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Ünye	23.03	2.21	330.00	0.72	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Giresun	21.66	2.12	332.00	0.71	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Şebinkarahisar	17.82	1.91	322.00	1.08	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Gümüşhane	19.85	1.88	282.00	1.05	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Trabzon Bölge	20.50	2.06	316.00	0.76	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Akçaabat	22.96	2.19	346.00	0.77	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bayburt	18.79	1.80	316.00	0.97	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Rize	23.69	2.22	344.00	0.72	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Rize/Pazar	20.21	2.08	330.00	0.94	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Artvin	18.47	1.88	314.00	0.93	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Hopa	21.19	2.09	320.00	0.82	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli

Tablo 10'da H_0 hipotezi 31 istasyonun 2'sinde 2 testte reddedilmiş; istasyonların 29'unda ise 4 testin tümünde reddedilmiştir.

Tablo 11. Yıllık ortalama rüzgâr hızı serilerinin homojenlik analizi sonuçları

Istasyon Adı	SNHT	BRT	PT	VN	Yorum
Düzce	10.73	2.09	128.00	0.47	Sınıf 2: Şüpheli
Akçakoca	20.37	1.63	216.00	0.29	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bolu	3.51	1.30	148.00	0.66	Sınıf 1: Homojen
Zonguldak	16.61	1.82	240.00	1.15	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bartın	17.09	2.33	294.00	0.37	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Amasra	20.58	2.53	264.00	0.99	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Kastamonu	21.60	2.36	266.00	0.71	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
İnebolu	28.78	2.72	374.00	0.16	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Kastamonu/Bozkurt	17.70	1.56	182.00	0.36	Sınıf 2: Şüpheli
Tosya	9.92	0.86	188.00	0.85	Sınıf 1: Homojen
Çorum	11.64	1.72	210.00	0.71	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Osmancık	15.40	2.31	324.00	0.38	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Sinop	18.62	1.69	266.00	0.76	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Amasya	16.05	2.92	154.00	0.26	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Merzifon	18.03	2.57	242.00	0.39	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Samsun Bölge	28.09	2.53	358.00	0.38	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bafra	8.07	1.95	156.00	0.97	Sınıf 2: Şüpheli
Tokat	24.64	2.17	280.00	0.92	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Zile	31.29	2.87	270.00	0.22	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Ordu	20.04	1.93	294.00	0.26	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Ünye	28.28	2.31	362.00	0.12	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Giresun	21.12	2.38	316.00	0.37	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Şebinkarahisar	23.42	2.75	308.00	0.19	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Gümüşhane	4.66	1.86	130.00	0.69	Sınıf 2: Şüpheli
Trabzon Bölge	9.00	1.89	234.00	1.32	Sınıf 2: Şüpheli
Akçaabat	23.56	2.37	170.00	0.28	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Bayburt	33.66	2.71	368.00	0.06	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Rize	33.21	2.49	342.00	0.13	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Rize/Pazar	20.04	2.55	142.00	0.38	Sınıf 3: Oldukça Şüpheli
Artvin	32.29	1.50	148.00	0.60	Sınıf 2: Şüpheli
Hopa	3.88	1.50	74.00	1.23	Sınıf 1: Homojen

Tablo 11'de H_0 hipotezi 31 istasyondan üçünde yalnızca bir testte reddedilmiş; istasyonların altısında iki testte reddedilmiş, istasyonların beşinde üç testte reddedilmiş; istasyonların 17'sinde ise dört testin tümünde reddedilmiştir.

Eğilim Analizi Bulguları

Yağış, sıcaklık ve rüzgâr hızı serilerinin eğilimlerini belirlemek amacıyla MK ve SR kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler %95 ve %99 güven düzeylerinde ele alınmış olup kritik değerler sırasıyla normal dağılım tablosundan 1.96 ve 2.58 olarak tespit edilmiştir. Eğilim analizi sonuçları Tablo 12-14'te verilmiştir.

MK sonuçlarına göre yağış serileri için %95 güven düzeyinde Bolu, Osmancık ve Ünye istasyonlarında artış; Kastamonu/Bozkurt, Zile ve Şebinkarahisar istasyonlarında azalış eğilimleri belirlenirken %99 güven düzeyinde Osmancık ve Ünye istasyonlarında artış; Kastamonu/Bozkurt istasyonunda azalış eğilimleri belirlenmiştir. SR sonuçlarına göre yağış serileri için %95 güven düzeyinde Bolu, Osmancık ve Ünye istasyonlarında artış; Kastamonu/Bozkurt ve Zile istasyonlarında azalış eğilimleri belirlenirken %99 güven düzeyinde Kastamonu/Bozkurt istasyonunda azalış eğilimi belirlenmiştir.

MK sonuçlarına göre sıcaklık serileri için %95 ve %99 güven düzeylerinde tüm istasyonlarda artış eğilimleri belirlenmiştir. SR sonuçlarına göre sıcaklık serileri için %95 ve %99 güven düzeylerinde yine tüm istasyonlarda artış eğilimleri belirlenmiştir.

MK sonuçlarına göre rüzgâr hızı serileri için %95 güven düzeyinde Kastamonu, İnebolu, Tosya, Giresun ve Şebinkarahisar istasyonlarında artış; Akçakoca, Bartın, Amasra, Kastamonu/Bozkurt, Çorum, Osmancık, Sinop, Samsun Bölge, Ordu, Ünye, Bayburt ve Rize istasyonlarında azalış eğilimleri belirlenirken %99 güven düzeyinde Kastamonu, İnebolu ve Şebinkarahisar istasyonlarında artış; Akçakoca, Bartın, Amasra, Çorum, Osmancık, Sinop, Samsun Bölge, Ordu, Ünye, Bayburt ve Rize istasyonlarında azalış eğilimleri belirlenmiştir. SR sonuçlarına göre rüzgâr hızı serileri için %95 güven düzeyinde Kastamonu, İnebolu, Tosya, Tokat, Giresun ve Şebinkarahisar istasyonlarında artış; Akçakoca, Zonguldak, Bartın, Amasra, Çorum, Osmancık, Sinop, Samsun Bölge, Ordu, Ünye, Bayburt ve Rize istasyonlarında azalış eğilimleri belirlenirken %99 güven düzeyinde Kastamonu, İnebolu, Giresun ve Şebinkarahisar istasyonlarında artış; Akçakoca, Bartın, Amasra,

Çorum, Osmancık, Samsun Bölge, Ordu, Ünye, Bayburt ve Rize istasyonlarında azalış eğilimleri belirlenmiştir.

Tablo 12. Yıllık toplam yağış serilerinin eğilim analizi sonuçları

İstasyon	Mann-Kendall				Spearman'ın Rho			
	%95		%99		%95		%99	
	Z	Karar	Z	Karar	Z	Karar	Z	Karar
Düzce	0.10	□00.10	□0	0.12	□20.12	□2		
Akçakoca	1.73	□31.73	□3	1.78	□81.78	□8		
Bolu	2.10	↑	2.10	□0	2.15	↑	2.15	□5
Zonguldak	-0.48	□8-0.48	□8	-0.69	□9-0.69	□9		
Bartın	0.10	□00.10	□0	0.46	□60.46	□6		
Amasra	-0.34	□4-0.34	□4	-0.28	□8-0.28	□8		
Kastamonu	0.83	□30.83	□3	1.02	□21.02	□2		
İnebolu	-0.44	□4-0.44	□4	-0.52	□2-0.52	□2		
Kastamonu/Bozkurt	-4.05	□5-4.05	□5	-3.54	□4-3.54	□4		
Tosya	-0.72	□2-0.72	□2	-0.49	□9-0.49	□9		
Çorum	0.64	□40.64	□4	0.65	□50.65	□5		
Osmancık	2.61	↑	2.61	↑	2.19	↑	2.19	□9
Sinop	0.02	□20.02	□2	0.08	□80.08	□8		
Amasya	0.80	□00.80	□0	0.67	□70.67	□7		
Merzifon	0.26	□60.26	□6	0.19	□90.19	□9		
Samsun Bölge	1.50	□01.50	□0	1.28	□81.28	□8		
Bafra	-1.63	□3-1.63	□3	-1.67	□7-1.67	□7		
Tokat	-1.46	□6-1.46	□6	-1.46	□6-1.46	□6		
Zile	-2.32	□2-2.32	□2	-2.04	□4-2.04	□4		
Ordu	0.64	□40.64	□4	0.51	□10.51	□1		
Ünye	2.63	↑	2.63	↑	2.31	↑	2.31	□1
Giresun	1.83	□31.83	□3	1.62	□21.62	□2		
Şebinkarahisar	-1.96	□6-1.96	□6	-1.84	□4-1.84	□4		
Gümüşhane	0.23	□30.23	□3	0.32	□20.32	□2		
Trabzon Bölge	0.52	□20.52	□2	0.44	□40.44	□4		
Akçaabat	-1.75	□5-1.75	□5	-1.86	□6-1.86	□6		
Bayburt	1.63	□31.63	□3	1.68	□81.68	□8		
Rize	0.88	□80.88	□8	0.81	□10.81	□1		
Rize/Pazar	1.26	□61.26	□6	1.19	□91.19	□9		
Artvin	-0.41	□1-0.41	□1	-0.52	□2-0.52	□2		
Hopa	1.78	□81.78	□8	1.87	□71.87	□7		
Artan Eğilim (↑)	3		2		3		-	
Azalan Eğilim (□)	3		1		2		1	
Eğilim Yok (□)	25		28		26		30	

Tablo 13. Yıllık ortalama sıcaklık serilerinin eğilim analizi sonuçları

İstasyon	Mann-Kendall				Spearman'ın Rho			
	%95		%99		%95		%99	
	Z	Karar	Z	Karar	Z	Karar	Z	Karar
Düzce	5.05	↑	5.05	↑	4.84	↑	4.84	↑
Akçakoca	5.35	↑	5.35	↑	5.05	↑	5.05	↑
Bolu	4.82	↑	4.82	↑	4.55	↑	4.55	↑
Zonguldak	4.65	↑	4.65	↑	4.47	↑	4.47	↑
Bartın	4.88	↑	4.88	↑	4.62	↑	4.62	↑
Amasra	4.85	↑	4.85	↑	4.67	↑	4.67	↑
Kastamonu	5.24	↑	5.24	↑	4.54	↑	4.54	↑
İnebolu	5.43	↑	5.43	↑	4.91	↑	4.91	↑
Kastamonu/Bozkurt	5.09	↑	5.09	↑	4.72	↑	4.72	↑
Tosya	4.67	↑	4.67	↑	4.39	↑	4.39	↑
Çorum	4.71	↑	4.71	↑	4.44	↑	4.44	↑
Osmancık	3.01	↑	3.01	↑	3.16	↑	3.16	↑
Sinop	5.15	↑	5.15	↑	4.75	↑	4.75	↑
Amasya	4.78	↑	4.78	↑	4.52	↑	4.52	↑
Merzifon	4.59	↑	4.59	↑	4.15	↑	4.15	↑
Samsun Bölge	5.84	↑	5.84	↑	5.20	↑	5.20	↑
Bafra	5.21	↑	5.21	↑	4.89	↑	4.89	↑
Tokat	5.09	↑	5.09	↑	4.70	↑	4.70	↑
Zile	4.44	↑	4.44	↑	4.20	↑	4.20	↑
Ordu	6.11	↑	6.11	↑	5.19	↑	5.19	↑
Ünye	5.91	↑	5.91	↑	5.11	↑	5.11	↑
Giresun	5.54	↑	5.54	↑	5.18	↑	5.18	↑
Şebinkarahisar	5.44	↑	5.44	↑	4.76	↑	4.76	↑
Gümüşhane	4.67	↑	4.67	↑	4.38	↑	4.38	↑
Trabzon Bölge	5.51	↑	5.51	↑	5.13	↑	5.13	↑
Akçaabat	5.70	↑	5.70	↑	5.20	↑	5.20	↑
Bayburt	4.89	↑	4.89	↑	4.64	↑	4.64	↑
Rize	5.82	↑	5.82	↑	5.20	↑	5.20	↑
Rize/Pazar	5.08	↑	5.08	↑	4.49	↑	4.49	↑
Artvin	5.35	↑	5.35	↑	4.91	↑	4.91	↑
Hopa	4.54	↑	4.54	↑	4.44	↑	4.44	↑
Artan Eğilim (↑)	31		31		31		31	
Azalan Eğilim (□)	-		-		-		-	
Eğilim Yok (□)	-		-		-		-	

Tablo 14. Yıllık ortalama rüzgâr hızı serilerinin eğilim analizi sonuçları

İstasyon	Mann-Kendall				Spearman'ın Rho			
	%95		%99		%95		%99	
	Z	Karar	Z	Karar	Z	Karar	Z	Karar
Düzce	0.51	□10.51	□1	1.06	□61.06	□6		
Akçakoca	-3.22	□2-3.22	□2	-2.99	□9-2.99	□9		
Bolu	0.16	□60.16	□6	0.31	□10.31	□1		
Zonguldak	-1.73	□3-1.73	□3	-2.00	□0-2	□2		
Bartın	-4.98	□8-4.98	□8	-4.15	□5-4.15	□5		
Amasra	-3.91	□1-3.91	□1	-3.39	□9-3.39	□9		
Kastamonu	2.89	↑	2.89	↑		3.34	↑	3.34
İnebolu	4.21	↑	4.21	↑		4.38	↑	4.38
Kastamonu/Bozkurt	-2.01	□1-2.01	□1	-1.81	□1-1.81	□1		
Tosya	2.16	↑	2.16	□6	2.42	↑	2.42	□2
Çorum	-3.68	□8-3.68	□8	-3.15	□5-3.15	□5		
Osmançık	-3.65	□5-3.65	□5	-3.39	□9-3.39	□9		
Sinop	-2.63	□3-2.63	□3	-2.47	□7-2.47	□7		
Amasya	-0.52	□2-0.52	□2	0.81	□10.81	□1		
Merzifon	1.00	□01	□		1.55	□51.55	□5	
Samsun Bölge	-5.47	□7-5.47	□7	-4.94	□4-4.94	□4		
Bafra	-0.92	□2-0.92	□		-0.92	□2-0.92	□2	
Tokat	1.80	□01.8	□		2.39	↑	2.39	□9
Zile	0.97	□70.97	□7	1.81	□11.81	□1		
Ordu	-5.08	□8-5.08	□8	-4.64	□4-4.64	□4		
Ünye	-6.71	□1-6.71	□1	-5.46	□6-5.46	□6		
Giresun	2.29	↑	2.29	□9	3.42	↑	3.42	↑
Şebinkarahisar	2.88	↑	2.88	↑		3.26	↑	3.26
Gümüşhane	-1.82	□2-1.82	□2	-1.37	□7-1.37	□7		
Trabzon Bölge	-1.11	□1-1.11	□1	-1.78	□8-1.78	□8		
Akçaabat	0.52	□20.52	□2	0.62	□20.62	□2		
Bayburt	-7.22	□2-7.22	□2	-5.81	□1-5.81	□1		
Rize	-5.93	□3-5.93	□3	-5.21	□1-5.21	□1		
Rize/Pazar	0.31	□10.31	□1	0.16	□60.16	□6		
Artvin	0.29	□90.29	□9	0.44	□40.44	□4		
Hopa	-0.88	□8-0.88	□8	-0.68	□8-0.68	□8		
Artan Eğilim (↑)		5		3		6		4
Azalan Eğilim (□)		12		11		12		10
Eğilim Yok (□)		14		17		13		17

TARTIŞMA

Benzer çalışma sahasına sahip ve bu araştırmada kullanılan meteorolojik parametrelerin yanı sıra farklı parametrelerin de incelendiği çalışmaların sonuçları ile bu araştırmanın sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Homojenlik analizi sonuçlarının iklim serilerinde yaşanan kırılmaların nedeni Sezen (2018) tarafından da ifade edildiği gibi artış veya azalış eğilimlerinden kaynaklanabileceği gibi istasyonlarda yaşanan ölçüm hataları, konum değişikliği ya da kıyı kesiminde yer alan istasyonların deniz melteminden etkilenmesi gibi sebeplerden de kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ulke Keskin vd. (2018) Samsun iline ait yağış sıcaklık ve rüzgâr hızı gözlemlerinde, yağış ve sıcaklık değerlerinde artma eğilimi, rüzgâr hızında ise azalma eğilimi belirlemiştir. Çeribaşı (2018) Batı Karadeniz havzasında yağışlarda azalma eğilimi belirlemiştir. Çeribaşı (2019) Doğu Karadeniz Havzası yağışlarında artma eğilimleri belirlerken, ileride ekstrem yağışların olabileceğini ifade etmiştir. Partal ve Yavuz (2020) Orta ve Doğu Karadeniz bölesin yağış değerlerinde artan eğilimler görüldüğünü ortaya koymuştur. Tokgöz ve Partal (2020) Karadeniz Bölgesinin 1960-2015 periyodundaki yağış ve sıcaklık değerlerinde Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen Yöntemlerine göre genel bir artış eğilimi belirlemişlerdir. Yılmaz vd. (2021) Doğu Karadeniz Bölgesine ait yağış, sıcaklık, buharlaşma ve rüzgâr hızı değerlerini incelemişlerdir. Sıcaklık ve yağışların bölge genelinde artan yönde eğilim gösterdiği, rüzgâr hızında Trabzon'da artan, Rize ve Bayburt'ta azalan yönde anlamlı eğilimler gösterdiği tespit edilmiştir. Buharlaşma değerlerinde Bayburt azalan, Gümüşhane ve Trabzon artan bir eğilim göstermektedir. Bu çalışmada ise sıcaklık gözlemlerinde ele alınan tüm istasyonlarda istatistiki artma eğilimleri belirlenmiştir. Yağış değerlerinde yer yer anlamlı artma ve azalma eğilimleri belirlenmesine rağmen bölge genelinde eğilimler bulunmamaktadır. Rüzgâr hızı gözlemlerinde ise azalan eğilime sahip istasyonlar ile eğilim göstermeyen istasyonları bölge genelinde yayılmaktadır. Ayrıca yer yer anlamlı artma eğilimi gösteren istasyonlarda bulunmaktadır. Bütün bulgular birlikte değerlendirildiğinde literatürdeki çalışmalara genel olarak paralel sonuçlar belirlendiği görülmekte olup kullanılan yöntemlerden ve gözlem periyodundan kaynaklı farklılıklar kaynaklandığı düşünülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada MGM'ye ait Karadeniz bölgesindeki 31 istasyonun 1982-2020 periyoduna ait yıllık toplam yağış, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama rüzgâr hızı serilerinin kaliteleri mutlak homojenlik testleri olarak

adlandırılan PT, SNHT, VN ve BRT ile değerlendirilmiş olup homojenliğin bozulmasıyla serilerin eğilim gösterip göstermediği MK ve SR yöntemleri ile araştırılmıştır.

Homojenlik analizi sonuçlarına göre yağış serilerinin bir istasyon dışında tamamının homojenlik sağladığı görülmektedir. Sıcaklık serilerinin homojenlik sonuçları incelendiğinde hiçbir istasyonda homojenlik sağlanmadığı belirlenmiştir. Rüzgâr hızı serilerinde ise yalnızca üç istasyonun homojenlik sağladığı tespit edilmiştir.

Eğilim analizi bulguları değerlendirildiğinde her iki yönetime göre sıcaklık serilerinde belirlenen anlamlı artış eğilimleri, küresel iklim değişikliğinin bir etkisi olarak bölgenin zamanla ısınmaya başladığını göstermektedir. Bu doğrultuda Karadeniz Bölgesinde ilerleyen yıllarda kuraklığın giderek artacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak istasyonlara ait parametrelerdeki olası eğilimlerin literatürde yer alan diğer yöntemler kullanılarak araştırılması ile homojenliğin bozulmasıyla anlamlı eğilimler göstermeyen istasyonların geçmişe dönük bilgilerinin araştırılması ve homojenliği bozan etmenlerin tespit edilmesi önerilmektedir. Ayrıca homojen olmayan gözlemlerde homojenliğin kaybolduğu zaman belirlenerek, muhtemel eğilimler ile ilişkileri irdelenmelidir.

Teşekkür

Yazarlar, meteorolojik verilerin temin edildiği Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkür eder. Ayrıca yazarlar, makalenin geliştirilmesiyle ilgili görüşlerini ifade eden isimsiz hakemlere de teşekkürlerini sunarlar.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Abtew W, Obeysekera J, Shih. Spatial analysis for monthly rainfall in south florida. *Water Resources Bulletin* 1993; 29(2): 179-188.
- Adarsh S., Reddy MJ. Trend analysis of rainfall in four meteorological subdivisions of southern India using nonparametric methods and discrete wavelet transforms. *International Journal of Climatology* 2014; 35(6): 1107-1124.
- Alexandersson H. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology* 1986; 6(6): 661-675.
- Alexandersson H., Moberg A. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology* 1997; 17(1): 25-34.
- Aydın M., Öz A. Van Gölü Havzasında hidrometeorolojik verilerin eğilim analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2021; 36(2): 441-456.
- Aytulun U. İklim değişikliğinin Susurluk ve Van Gölü havzalarının meteorolojik verilerine etkisinin trend analiz yöntemleri ile araştırılması. *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya. Türkiye. 2019.
- Bonaccorso B., Cancelliere A., Rossi G. Detecting trends of extreme rainfall series in sicily. *Advances in Geosciences* 200; 2:7-11.
- Brunetti M., Colacino M., Maugeri M., Nanni T. Trends in the daily intensity of precipitation in italy from 1951 to 1996. *International Journal of Climatology* 2001; 21:299-316.

Buishand TA. Some methods for testing of rainfall records. Journal of Hydraulics 1982; 58: 11–27.

Büyükyıldız M. Sakarya havzası yağışlarının trend analizi ve stokastik modellemesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Konya. Türkiye. 2004.

Çakmak Ö. Büyük Menderes Havzası örneğinde yağış verilerinde aylık ve yıllık eğilim analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. İzmir. Türkiye. 2019.

Çeribaşı G. Batı Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Yenilikçi Şen Yöntemi İle Analizi. Academic Platform- Journal of Engineering and Science 2018; 6(3): 168–173

Çeribaşı G. Şen Yöntemi ve Trend Yöntemleri Kullanılarak Doğu Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Analiz Edilmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2019; 9(1): 254–264.

Çiflik D. Ege Bölgesi DSİ istasyonlarında ölçülen yıllık toplam yağışların trend analizi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. İzmir. Türkiye. 2012.

Çoban E. İklim değişikliğinin Türkiye genelindeki yağış eğilimlerine etkisinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. Isparta. Türkiye. 2013.

Dalkılıç HY. Yağışların Trend Analizi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2019; 12(3): 1537-1549.

Demircan M., Arabacı H., Coşkun M., Türkoğlu N., Çiçek İ. İklim değişikliği ve halk takvimi: Maksimum sıcaklık desenleri ve değişimi. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi. 2017. İstanbul Medipol Üniversitesi. İstanbul.

Em A. Hidrolojik değişken yağışa göre GAP Bölgesindeki kuraklığın trend analizi bakımından incelenmesi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Diyarbakır. Türkiye. 2005.

Ercan B., Yüce Mİ. Trend analysis of hydro-meteorological variables of Kızılırmak basin. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi 2017; 6: 333-340.

Gümüş V. Fırat Havzası Akımlarının Trend Analizi İle Değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. Şanlıurfa. Türkiye. 2006.

Gündüz F., Zeybekoğlu U. Survey of precipitation trends in the Hirfanli Dam Basin. III. International Siirt Scientific Research Congress. 18-19 November 2022. Siirt. Türkiye.

Gündüz F., Zeybekoğlu U. Survey of temperature trends in the Hirfanli Dam Basin. International Siirt Scientific Research Congress. 18-19 November 2022. Siirt. Türkiye

Hadi SJ., Tombul M. Long-term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey. Meteorological Applications 2018; 25(3): 445-455.

Helsel DR., Hirsch RM. Statistical Methods in Water Resources. Amsterdam: Elsevier Science Publishers; 1992.

İçağa Y. Analysis of Trends in Water Quality Using Nonparametric Methods. Dokuz Eylül University MSc Thesis. İzmir, Turkey. 1994.

İçağa Y., Harmancıoğlu N. Yeşilirmak Havzasında Su Kalitesi Eğilimlerinin Belirlenmesi. Türkiye İnşaat Mühendisliği XIII. Teknik Kongresi. 20-22 Aralık 1995. Sayfa no: 482-497. Ankara. Türkiye.

Jaruskova D. Change-point detection in meteorological measurement. Monthly Weather Review 1996; 124(7): 1535-1543.

Jones PD., Wigley TML., Wright PB. Global temperature variations between 1861 and 1984. Nature 1986; 322:430-434.

Kahya E., Kalaycı S. Trend Analysis of Streamflow in Turkey. Journal of Hydrology 2004; 289: 128-144.

- Kankal M., Akçay F. Trabzon ili yağışlarının eğilim analizi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2019; 9(2): 318-331.
- Kendall MG. Rank Correlation Methods. London: Charless Griffin; 1975.
- Kite G., Looking for Evidence of Climatic Change in Hydrometeorological Time Series. Western Snow Conference. 1991. Washington. Alaska.
- Liuzzo L., Freni G. Analysis of extreme rainfall trends in Sicily for the evaluation of depth-duration-frequency curves in climate change scenarios. Journal Hydrological Engineering 2015; 20(12):1-12.
- Longobardi A., Villani P. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. International Journal of Climatology 2010; 30(10): 1538-1546.
- Mann HB. Non-parametric Tests against Trend. The Econometric Society 1945; 13(3): 245-259.
- MGM. 2020 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi Ankara, 2021.
- Owen DB. Handbook of statistical tables. Reading: Addison Wesley; 1962.
- Özkoca T. Orta Karadeniz kıyı illerinin hidrometeorolojik verilerinin trend analizi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Samsun. Türkiye. 2015.
- Öztürk K. Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi 2002; 22(1): 47-65.
- Panda A., Sahu N. Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. Atmospheric Science Letters 2019; 20(10): e932.
- Partal T. Türkiye yağış verilerinin trend analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. Türkiye. 2003.
- Partal T. Türkiye yağış verilerinin trend analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. Türkiye. 2003.
- Partal T., Kahya E. Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Processes 2006; 20(9): 2011–2026.
- Partal T., Yavuz E. Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması. DUJE 2020; 11(2): 851-861.
- Peterson TC., Easterling DR., Karl TR., Groisman P., Nicholls N., Plummer N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett D., Vincent L., Heino R., Tuomenvirta H., Mestre O., Szentimrey T., Salinger, J., Forland EJ., Hanssen-Bauer I., Alexandersson H., Jones, P., Parker D. Homogeneity Adjustments of in Situ Atmospheric Climate Data: A Review. International Journal of Climatol. 1998; 18(13): 1493–1517.
- Pettitt A. A non-parametric approach to the change-point detection. Applied Statistics 1979; 28: 126-135.
- Sayemuzzaman M., Jha MK. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United State. Atmospheric Research 2014; 137: 183-194.
- Schonwiese CD., Rapp J. Climate trend atlas of Europe Based on observations 1891–1990. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1997.
- Sezen C. Küresel Atmosferik İndislerin Türkiye'deki Sıcaklık ve Yağış Verilerine Olan Etkisi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. Samsun. Türkiye. 2018.
- Sneyers R. On the statistical analysis of series of observations (No. 143). Geneva: World Meteorological Organization (WMO); 1991.
- Swain S., Verma M., Verma MK. Statistical trend analysis of monthly rainfall for Raipur District, Chhattisgarh. International Journal Advanced Engineering Research Studies 2015; 4(2): 87–89.

- Şenocak S., Emek MF. Trend analizi yöntemleri kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi aylık yağış miktarlarının değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; (17): 807-822.
- Terzi Ö., İlker A. Kızılırmak Havzası'nda sıcaklık değerlerinin trend analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 24(3): 626-634.
- Tokgöz S., Partal T. Karadeniz bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi şen ve mann-kendall yöntemleri ile trend analizi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 1107–1118.
- Türkeş M. Küresel iklim değişikliği: Başlıca Nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler ve etkileri. *Uluslararası Katılımlı 1. Meteoroloji Sempozyumu*. 2010. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Türkeş M. Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 1999; 23(5): 363-380.
- Türkeş M., Sumer UM., Demir İI. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929– 1999. *International Journal of Climatology* 2002; 22(8): 947-977.
- Ülke Keskin A., Beden N., Demir, V. Analysis of annual, seasonal and monthly trends of climatic data: a case study of Samsun. *Nature Sciences* 2018; 13(3): 51-70.
- Von Neumann J. Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. *Annals of Mathematical Statistics* 1941; 13: 367– 395.
- Wijngaard J., Klein TA., Können G. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology* 2003; 23(6): 679-692.
- Yılmaz CB., Demir V., Sevimli MF. Doğu Karadeniz Bölgesi Meteorolojik Parametrelerinin Trend Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; (24): 489-496.
- Yüce Ş., Ercan B., Eşit M., Ünsal M., Yüce Mİ. Seyhan havzası yağış verilerinin eğilim analizi. *İklim Değişikliği ve Çevre* 2018; 3(2): 47–54.
- Zeybekoğlu U., Aktürk G. Homogeneity and Trend Analysis of Temperature Series in Hirfanli Dam Basin. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 2022; 11(1): 49–58.
- Zeybekoğlu U., Karahan H. Investigation of rainfall intensity series of standard duration with trend analysis methods. *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences* 2018; 24(6): 974-1004.

Tahıl Sapları Kullanılarak Oluşturulan Unsurların İç Mekân Tasarımına Yönelik
İşlevsel Kullanımı

Functional Use of Elements Created Using Grain Straws for Interior Design

Anıl DUMAN¹, İldem Aytar SEVER²

¹Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul

²Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, İstanbul

Doi: 10.51764/smutgd.1261118

Geliş Tarihi :06.03.2023

ÖZET

Kabul Tarihi :28.05.2023

Tahıl sap ve samanlar kullanılarak iç mekânda kullanıma yönelik işlevsel unsurların kullanımı hakkında araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalar kapsamında tahıl saplarının marketri, plaka, blok ve istifleme yöntemleriyle oluşturulduğu görülmüştür. İstenilen işleve göre nasıl bir yol izlenebileceğine yer verilmiştir. Sonuç ürünü ortaya çıkarma noktasında hangi bağdaştırıcılar kullanılabileceğine örnek verilmiştir. Bağdaştırıcı kullanılırken hangi özelliklere dikkat edilmesi gerektiği açıklanmıştır. İç mekân unsurları örneklerle ortaya koyulmuştur. Oluşturulacak sonuç ürünün hangi form ve işlevlerde kullanılabileceği irdelenmiştir. Bu formları oluşturmada hangi süreçlerin yaşanacağı öne sürülmüştür. Muadil olarak yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir. Örnekler tablo ve farklılıklarla öne sürülmüştür. Kullanıma yönelik hangi farklılıklar getirileceği düşünülmüştür. Tahıl saplarının boşluklu yapısı nedeniyle bünyesinde barındığı özelliklerin forma entegrasyonu hangi özelliğe ikame ettiği irdelenmiştir. Formun nasıl oluşabileceği konusunda çıkarımlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Saman, Tahıl sapları, Doğal materyaller, İç mekân unsurları, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT

Researches were made on the use of functional elements for indoor use by using grain stalks and straw. Within the scope of the researches, it was seen that the grain stalks and straw were formed by marketri, plate, block and stacking methods. It is given how the path can be followed according to the desired function. An example is given of which adhesives can be used to create the end product. It is explained what features should be considered when using the adhesives. Interior elements are presented with examples. The form and functions of the final product to be created have been examined. It has been suggested which processes will be experienced in creating these forms. Examples of studies carried out as equivalent are given. Examples are suggested with tables and differences. It has been considered what differences will be brought for use. Due to the hollow structure of the grain stalks, it has been examined which feature replaces the integration into the form. Inferences have been made about how the form can be formed.

Keywords: Straw, Grain stalks, Natural materials, Interior elements, Sustainability

Y. İç Mimar Anıl Duman, Orcid: 0009-0002-9724-7255, anlduman@gmail.com

Doç. Dr. İldem Aytar Sever, Orcid: 0000-0003-2492-9845, ildem.aytar@msgsu.edu.tr

GİRİŞ

Tarımın, yüzyıllardır insan hayatının yaşayış biçimini değiştirdiği söylenebilir. Tarımla birlikte yerleşik hayata geçen insanın, bu bağlamdan bakıldığında gereksinimleri çeşitlenmiştir. Tarımın gelişmesiyle birlikte barınma kısa süreli ve göç halinde olmaktan çıkıp kalıcı barınma alanları kullanılmaya başlanmıştır. Sonrasında kalıcı yerleşim alanları oluşmaya başlamış olup köy, kasaba ve kent kavramları ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 1. Antik Mısır' da tarımı sembolize eden çizim

Tarımda önemli olan buğday, yulaf gibi ürünlerin yetiştirilmesi sonucu ortaya çıkan besleyici değeri olmayan sapların çoğunlukla atıl olarak kaldığı gözlemlenmiştir. Bu atıl değer aslında farklı malzemelerle birleştirilerek ortaya yeni bir değer çıkarılabileceği düşünülmüş ve bu kullanıma yönelik hangi form ve işlevlerde kullanılabileceği aranmaya başlanmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle insan, farklı kullanım amaçlarına yönelik inorganik malzemeler üretmeye başlamıştır. Üretilen bu malzemelerin bazıları birtakım araştırma ve deneyler sonucunda süreç içerisinde insan sağlığına olumsuz etki yaratabileceği ortaya çıkmıştır. İnorganik olarak oluşturulan malzemelerin kimi insan hayatını kolaylaştırır da insan sağlığına zararlı olabileceği düşünüldüğünde bu malzemelerin kullanılmamasının daha akılcı olduğu söylenebilir. Bu malzemeler yerine daha zararsız inorganik veya organik alternatiflerinin kullanılmasının daha faydalı olduğu söylenebilir.

Doğal içerikli malzemelerin kullanımının yoğunluğu insan sağlığına karşı oluşabilecek zararları indirgeyebileceği öngörülmüştür. Malzeme kullanımında sürdürülebilirlik ve doğal içerik perspektifinden bakılarak iç mekân unsurlarının sentezlenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda geçmişten ilham alıp, tahıl sapları bağlayıcılarla sertleştirilerek mukavemet kazandırılma sonucunda iç mekânda kullanılabilecek form ve unsurlar yaratılabileceği düşünülmüştür.



Şekil 2. Tahıl sapları



Şekil 3. Saplardan oluşturulan blok

Şekil-3' de tahıl sapları, bağdaştırıcıyla birlikte kalıplama yöntemiyle belirli form verilerek oluşturulmuş blok yer almaktadır. Bu formda oluşturulan blok yapı inşasında veya iç mekânda belirli işlevlerde kullanabilmektedir. İç veya dış mekânda kullanılmak üzere oluşturulacak form işleve göre çeşitlenebilmektedir. Louis Sullivan' ın dile getirdiği "form follows function" Türkçe olarak "form işlevi takip eder" perspektifinden bakıldığında istenilen işleve göre form oluşturulabilmektedir. Materyal ve bağdaştırıcının mukavemeti göz önüne alınarak işlev-form ilişkisi kapsamında çalışma yapılması, sonuç ürünün, ideal kullanım ömrüne taşınmasında rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Tahıl sap balyalarından iç mekânda kullanılmak üzere iç mekân unsurları oluşturulabilir. İç mekân unsurları olarak geçen öğeleri servis yüzeyleri, mobilya, tamamlayıcı dekoratif objeler, duvar-tavan panelleri vb. tanımlanabilir. İç mekân unsurları, atmosferi oluşturan fiziksel unsurlara örnek olarak gösterilebilir. Üretilen iç mekân unsurları mekân içerisinde atmosferi yaratan fiziksel unsurlara örnek olarak verilebilir (Cordan, 2017).

İç Mekân Unsurları

Mimarlık sözlüğünde mekân; 'Kişiyi çevreden belli bir ölçüde ayıran ve içinde çeşitli eylemlerini sürdürmesine elverişli olan bir boşluktur' şeklinde tanımlanmıştır (Hasol, 1990). Mekân bireylerin hayatını devam ettirmesi için kullandığı hacim ve bu alanda ihtiyaç duyduğu unsurları içinde kullandığı yaşam alanı diyebiliriz. Mekân unsurları bu ihtiyaçlara cevap veren öğelerdir. Bu unsurları ise mobilya, dekoratif öğeler, servis yüzeyleri, armatürler vb. olarak tanımlanabilir (url-1).

İç mekânda kullanılmak üzere tasarlanacak unsurlar birçok malzemeden üretilebilir. Zaman içerisinde teknolojinin gelişmesiyle organik ve inorganik kompozit malzemeler üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeler özet olarak 'makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler' şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla özelliklerini korumaktadırlar (Rosato, 1997). Bu bağlamda bir araya getirilen materyaller kompozit olarak adlandırılıp doğal veya yapay olarak üretilebilir. Doğal ve yapay malzeme ile birlikte oluşturulan kompozitlere örnek olarak mdf, sunta, mantardan oluşturulan bardak altlıkları vb. gibi örnekler sıralanabilir (url-2). Tahıl sap ve samanları birleştirici malzeme kullanarak tasarlanan forma getirilip iç mekânda kullanıma yönelik servis yüzeyleri, duvar panelleri vb. iç mekân tasarım unsurları olarak işlevlendirilmesi öngörülebilir.

Materyal ve Metot

İç mekânda kullanılmak üzere tahıl saplarının kullanımının nedenleri ele alındığında öncelikle ana malzeme olan tahıl sapları, samanların üretimi için ayrıca bir çaba söz konusu olmadığından sürdürülebilirlik perspektifine ikame etmektedir. Ana materyalin lifli yapısı bağlayıcıyla muhafaza edildiğinde mukavemetli form oluşturulacağı öngörülmüştür. Boşluklu yapısı formla entegre edilerek akustik özelliği bulunan ürünler ortaya çıkabileceği düşünülmüştür.



4 Rape straw particles used for the experimental particleboards

Şekil 4. Panel yapmak üzere hazırlanan doğal materyallerin görseli (C.Cosereanu,C.Cerbu, 2019)

Morphology, Physical, and Mechanical Properties of Particleboard Made from Rape Straw and Wood Particles Glued with Urea-Formaldehyde Resin” “adlı çalışma için Şekil 4’de bulunan malzemeler kullanılmıştır. Tablo 1’de yapılan çalışma kapsamında hangi kriterlerin sabit ve değişken tutulduğu tablo haline getirilerek belgelenmiştir. Şekil 6’da farklı karışım oranları ile oluşturulan materyallerin numaralarıyla birlikte nasıl görüldüğü yer almaktadır. (C.Cosereanu,C.Cerbu, 2019)

Panel Code No.	Particle Ratio (%)		Adhesive (UF) Resin (%)	Press Temperature (°C)	Pressing Time (min)	Press Pressure (bar)
	Rape Straw	Mixed Wood (70% spruce wood and 30% beech wood)				
RSP 0	0	100	12	180	6	80
RSP 1	10	90	12	180	6	80
RSP 2	30	70	12	180	6	80
RSP 3	50	50	12	180	6	80
RSP 4	70	30	12	180	6	80

Tablo 1. Doğal malzemeler kullanılarak panel yapım sürecinde beş farklı yöntem tablosu

Tablo 1’de bulunan grafikte saman lifleri ile talaşların farklı karışım oranlarıyla birlikte derece, bağdaştırıcı oranı, sıkıştırma süresi, sıkıştırma basıncı aynı tutularak beş adet çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara bakıldığında sabit tutulan değerler bağdaştırıcı oranı, ısı, sıkıştırma süre ve basıncı olmuş değiştirilen değer ise talaş-saman olarak üretim süreci gerçekleştirilmiş tablo oluşturulmuştur.



Şekil 5. Doğal malzemeler kullanılarak panel yapım sürecinde beş farklı yöntem sonuç ürünler

Oluşturulan malzemeler Şekil 5’de görülmekte olup yer alan sonuç ürün düz bir levha olarak oluşturulmuş ancak istenilen forma göre şekillendirebileceği düşünülmektedir. İşleve göre form istenildiği gibi belirlenip (malzemenin müsaade ettiği kadar) istenilen gereksinime göre oranlar düzenlenebilir. Oluşturulan sonuç ürünler performans testlerine tabi tutularak istenilen işleve göre hangi karışım oranının daha verimli olacağı bulunabilir. Kullanım alanlarına göre seçim yapmakta fayda olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Tahıl sapları kullanılarak üretilmiş panel

Tahıl sapları ve samanların iç mekânda kullanım için materyalin olabildikçe formunu muhafaza etmesi hedeflenmiştir. Tasarlanacak iç mekânda kullanıma yönelik örneğin duvar paneli, servis yüzeyi, akustik panel vb. gibi unsurların istenilen formda oluşturulup mukavemetli olması hedeflenmektedir. Tahıl sapları doğası gereği dağınık bir malzeme olduğu için istenilen forma dönüştürülürken bir bağlayıcı ile formu muhafaza edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Doğal veya kimyasal bağlayıcı uygulandıktan sonra istenilen formu süre ve mukavemet konusunda nasıl muhafaza edileceği de gözlemlenmelidir. İstenilen forma göre çalışma yapılıp oluşturma tekniği düşünüldükten sonra bağdaştırıcıyla sonuç ürün ortaya çıkarılmalıdır. Kullanılacak bağdaştırıcılara epoksi, reçine, sodyum silikat gibi örnekler verilebilir. Bağdaştırıcı seçilirken “naf” özelliği bulunan açmak gerekirse “no added formaldehyde” “formaldehit eklenmemiş” bağdaştırıcı seçilmesine önem gösterilmelidir. Eklenen formaldehit insan sağlığına zararlı bir bileşen olduğu yapılan araştırmalarla bilinmekte olup bu hususa dikkat edilmelidir (Şendemir, 1991). Seçilecek kimyasal veya doğal bağlayıcıyla istenilen iç mekân unsurları oluşturulabilir ancak insan sağlığına etkisine bakılmasında fayda olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Pirinç sapları kullanılarak oluşturulan dekoratif yüzey paneli

Şekil 6'da pirinç saplarından yapılan dekoratif duvar panel görseli üzerinden makale özelinde incelenen konuyla bağlantılı olması nedeniyle yer verilmiştir. Pirinç saplarının kırtıklı yapısı muhafaza edilip istif ve sabitleme yöntemiyle duvar paneli dikdörtgen formda oluşturulmuştur. Oluşturulan bu panel düz duvar yüzeyinde dokusu nedeniyle durağan devinim yaratmıştır.

Doğal bağlayıcı ile birleştirildikten sonra iç mekânda akustik özelliği bulunan duvar ve tavan paneli, servis yüzeyi, çerçeve, işlevsel özelliği olmayan dekoratif unsurlar gibi çalışmalara evrilebilir. Mekânın projeleştirilmesi aşamasında oluşturulacak tasarımlarda, tahıl sapları ve bağlayıcı kullanıldığı için istenilen form (fizik kuralları ve iç yapısı dikkat edilerek) kalıp veya yığma tekniğiyle oluşturulabilir.

Oluşturulacak formlar kalıp veya yığma tekniği ile üretilebilir. Söz edilen kalıplama tekniği ise; istenilen formun kontürleri istenilen yükseklikte oluşturularak ve malzeme içini doldurabilecek şekilde açıklık bırakılarak oluşturulmasıdır. (M.E.B, 2013) Sonrasında doğal malzeme ile bağlayıcı içine koyularak kuruma ve formu bulma için beklenilir. Tasarıma bağlı olarak iç strüktür gerebileceği durumlar olabilmesi mümkündür. İç strüktürde bambu, ahşap vb. gibi güçlü materyaller kullanılabilir. Strüktür uygulama gerekmediği tasarımlarda herhangi strüktürel bir ekleme yapılmasına gerek yoktur.

Yığma tekniği ise istenilen form bağlayıcı kalıp olmaksızın üstü üste eklenerek oluşturulmasıdır. (Duman, 2021) Bu teknikteki önemli nokta malzeme ve bağlayıcı eklenerek yapıldığından istifleme sırasında katmanlar arası bir noktada kurumasını beklemek gerekmektedir çünkü ıslak kıvamdan dolayı formun kendini salma isteği göstermesi beklenmektedir. Tahıl saplarının boşluklu yapısı bağlayıcı ile muhafaza edildiğinde ve yüzeyi kırtıklı yapısı korunduğunda akustik özelliği olabileceği öngörüldüğü için bu materyal kullanılabilir. Akustik özelliği arttırmak için ürün özelinde ses odaları açılabilir, akort etme parçaları bulunabilir ve formu düzenlenebilir. Bu kriterlere dikkat edilerek tasarlanan formlarda akustik özellik bulunabilir.



Şekil 8. Tahıl saplarının renklendirilip marketri uygulamasına hazır hali



Şekil 9. Tahıl sapları kullanılarak marketri biçiminde oluşturulmuş renk katılarak üretilmiş obje

Şekil 7'de renk pigmentleri katılması sonucu farklı etkiler alındığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda form ve farklı malzeme ile birleştirilmesi sonucu ortaya görseldeki çalışma çıkarıldığı görülmektedir. Farklı malzemeler ile sentezlenerek oluşturulan iç mekân unsurlarında görsellerde değişik enstantane alınması söz konusu olmaktadır. Sonuç ürünün tasarım, kullanım, doku ve renk ile birleştiğinde saman lifleriyle yapıldığının algılanması zorlaşmaktadır. Birtakım sentezler sonucu yaratılmak istenen sonuç ürüne göre bu algı artıp azalabileceği düşünülmektedir.



Şekil 10. Tahıl sapları kullanılarak marketri biçiminde oluşturulmuş renk katılarak üretilmiş servis elemanı



Şekil 11. Tahıl sapları kullanılarak marketri biçiminde oluşturulmuş renk katılarak üretilmiş servis elemanı

Sonuç

Tüklenen hammaddeler yerine daimî üretimi olan ve üretiminde fazladan bir çaba olmayan materyallerin tercih edilmesi gün geçtikçe daha önem kazanmaktadır. Bu bağlamda iç mekân unsurları üretmekte kullanılan materyallerin seçimi yapılırken sürdürülebilir kaynakların kullanılmasında dikkat edilmesinde fayda olduğu söylenebilmektedir. Araştırma özelinde tahıl sap ve samanların sürdürülebilir kaynak olması nedeniyle karbon ayak izi az sonuç ürünlerin oluşturulmasında rol oynamıştır.

Tahıl sap ve samanlar, bağlayıcı kullanılarak istenilen formda iç mekânda kullanılmak üzere, servis elemanları, bölücüler, mobilya gibi işlevlerde oluşturulabilir. Mukavemeti arttırmak için bağlayıcı oranı ve saman yoğunluğu, büyüklüğü değiştirilerek farklı sonuçlara ulaşılabilir. İstenilen form ve işlev, tahıl sap ve samanların bağdaştırıcının oran ve kalıp yardımıyla gerçekleştirilebilir.



Şekil 12. Tahıl saplarının istif biçiminde esnek materyal içerisine dolgu malzemesi olarak kullanım örneği



Şekil 13. Hindistan cevize kabuğu üzerindeki lifler ve bağlayıcıların kullanımıyla kalıplamayla üretilen objeler

Tasarım oluşturulurken ideal sonuç için hangi yöntem seçileceği işlevine göre tercih edildiği saptanmıştır. Bu doğrultuda örnek vermek gerekirse, Şekil 12 ile Şekil 13 kıyaslandığında, oturma elemanı için doğal materyal dolgu olarak istif yöntemi kullanılıp dış kabukla oluşturulmuştur. Şekil 13 de ise malzemenin istif halinde olması tercih edilmemiş ve kalıplama yöntemiyle materyal rijit haline ulaşması için bağdaştırıcıyla birlikte belli oran ve zaman aralığında sıkıştırılıp kalıplanmıştır. İki örnek üzerinden hangi yöntemin seçileceği işlevin gereksinimiyle doğru orantılıdır. Hindistan cevizi lifleri kullanılarak üretilen örneklerin konu özelinde incelenen tahıl saplarına ikame edebileceği düşünüldüğü ve lifli yapısı yanı sıra bağdaştırıcıyla kalıplama tekniği yöntemiyle rijit forma ulaşılacağı öngörülmektedir.

Bağdaştırıcıyla birlikte kalıplama yöntemi kullanılarak mobilya yan elemanları, aksesuarlar, duvar panelleri, aydınlatma öğeleri vb. yapılabilir. Saman ve tahıl sapları kullanılarak mdf benzeri üretilen plakalarla depolama üniteleri, yatak bazaları vb. iç mekân unsurları üretimi sağlanabilir.



Şekil 14. Tahıl sap ve samanlardan yapılmış plakalarla oluşturulan mobilya takımı



Şekil 15. Tahıl sap ve samanlardan yapılmış plakalarla oluşturulan mobilya takımı

Çalışma kapsamında ürün kalıplama ve yığma tekniği ile sonuç ürünün oluşturulabileceği görülmüştür. Ürün oluşturulurken hangi tekniğin kullanılacağı istenilen forma göre belirlenebilir. Belirlenen formun yapım tekniğine göre üretimi gerçekleştirilip sonuç ürüne ulaşılabilir. Seçilen yapım tekniğine göre tasarımı oluşturma aşamasında veya oluşturulduktan sonra sonuç ürüne renk pigmentleri katılarak farklı enstantaneler yaratılabileceği düşünülmektedir.

Bağdaştırıcıların gelişen teknolojiyle çeşitlenerek gelecek yıllarda daha dayanıklı ve esnek olacak biçimde tasarımların oluşturulmasında rol oynayabilir. Kalıpların çeşitlenmesi ve üretilen ürünlerden alınan geri bildirimlere göre form ve işlevler çeşitlenebilir.

Kaynakça

- C.Cosereanu,C.Cerbu, (2019), "Morphology, Physical, and Mechanical Properties of Particleboard Made from Rape Straw and Wood Particles Glued with Urea-Formaldehyde Resin" Materials Science, Bioresources DOI:[10.15376/BIORES.14.2.2903-2918](https://doi.org/10.15376/BIORES.14.2.2903-2918), Corpus ID: 140456550.
- Duman, A. Sıkıştırılmış saman balyalarıyla oluşturulan modüllerden inşa edilen konutların incelenmesi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 41-42, İstanbul, Türkiye, 2021
- Hasol, D. (1990), Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yem Yayın, İstanbul.
- M.E.B, (2013) Sanat ve Tasarım, "İki parçalı kalıp ve model dökümü", Ankara, 1-5.
- Rosato, D. V. (1997), "Designing with reinforced composites: Hanser Gardner Publications".
- Şendemir, E. (1991), "Formaldehit kullanımı ve zararları", Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 18(2), 361-365.
- url-1: Cordan, Ö. erişim tarihi (2023, 05,12), Yapı Dergisi, <https://yapidergisi.com/ic-mekan-atmosferi/> adresinden alındı
- url-2: Olgun, M. (2023, 05,11), İnşaat Malzeme Bilgisi, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61361/mod_resource/content/0/imb4.pdf adresinden alındı

Şekil Kaynakları

Şekil 1:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/91/Maler_der_Grabkammer_des_Sennudem_001.jpg/309px-Maler_der_Grabkammer_des_Sennudem_001.jpg

Şekil 2: <https://i0.wp.com/laidbackgardener.blog/wp-content/uploads/2018/08/20180807b-hans-pixabay-com.jpg?w=960&ssl=1>

Şekil 3: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/styles/large/public/prespaglia-1.jpg?itok=wqUTLtar>

Şekil 4: <https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/0103adc115e220496cddfc8db06d1d1614660cf4/250px/3-Figure1-1.png>

Şekil 5: <https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/0103adc115e220496cddfc8db06d1d1614660cf4/250px/5-Figure2-1.png>

Şekil 6: http://www.wanhuaboard.com/Public/wh/img/product_profile_13.png

Şekil 7: https://a.1stdibscdn.com/arko-wall-art-5-contemporary-art-craft-rice-straw-for-sale-picture-3/f_21633/f_245556621626487789896/casm_master.jpg?disable=upscale&auto=webp&quality=60&width=1318

Şekil 8: <https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5c929ed277b90365db5f2c5f/a6310a1a-fd22-47ff-b156-7b4564bff75c/APR++Lison+de+Caunes+ATELIER+%28c%29+Alys+Thomas+%2846%29.jpg?format=1500w>

Şekil 9: https://a.1stdibscdn.com/pink-aurae-throne-by-marco-sorrentino-for-sale-picture-5/f_17062/f_220859121610441417277/ABLVCO_012_E20190801_7_1gsl690_master.jpg?disable=upscale&auto=webp&quality=60&width=1318

Şekil 10: <https://www.lisondecaunes.com/fr/portfolio/table-u/>

Şekil 11: <https://www.alexanderlamont.com/ddoc-12486-5c757c77ff33a78f13c0093816cef85d-archer-sconce-burnished-metal-straw-01-alexander-lamont.jpg>

Şekil 12: <https://www.thedesignsheppard.com/wp-content/uploads/2015/02/DesRes-Straw-Bench-Leather-Detail-LS700-635x461.jpg>

Şekil 13: <https://materialdistrict.com/wp-content/uploads/2016/07/Cocoform-ONA478-2-960x640.jpg>

Şekil 14: http://www.wanhuaboard.com/Public/wh/img/plain_e1.png

Şekil 15: <https://www.alexanderlamont.com/en/product/decorative-items/screen/fg000128-flamengo-screen/>

Tablo Kaynakları

Tablo 1: <https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/0103adc115e220496cddfc8db06d1d1614660cf4/250px/5-Table2-1.png>