

BAKAD
2012
BATI KARADENİZ
AKADEMİSYENLER
DERNEĞİ

UMÜFED

ULUSLARARASI
BATI KARADENİZ
MÜHENDİSLİK
VE FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ

INTERNATIONAL WEST BLACK SEA
ENGINEERING AND SCIENCE
JOURNAL

EDİTÖR KURULU

SAHİBİ

Batı Karadeniz Akademisyenler Derneği Adına

Prof. Dr. Mahmut BOZAN

BAŞ EDİTÖR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

ALAN EDİTÖRLERİ

Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih İLKBAHAR

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan SOLMAZ

YAYIN KURULU

Prof. Dr. Davut KARAASLAN

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Prof. Dr. Giray TOPAL

Prof. Dr. Deniz AYDEMİR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ

Doç. Dr. Medeni AYKUT

Doç. Dr. Dahaman ISHAK

Doç. Dr. Şahin PALTA

Doç. Dr. Salih PAŞA

Doç. Dr. Suhaidi SHAFİE

Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL

Doç. Dr. Ersin ALAYBEYOĞLU

Doç. Dr. Kamil ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih İLKBAHAR

Dr. Azizul AZİZAN

Dr. Haslina JAAFAR

Dr. Mohd Nazim MOHTAR

Dr. Mohd Amrallah MUSTAFA

Dr. Fakhrul HAZMAN YUSOFF

Öğr. Gör. M. Semih SARAÖĞLU

Öğr. Gör. Taylan TUĞRUL

İLETİŞİM

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Bartın Üniversitesi Kutlubeyyazıcılar Kampüsü

Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Oda:307

MERKEZ/BARTIN

E-posta: (eyupburak@gmail.com)

TEKNİK DESTEK

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

E-posta: eyupburak@gmail.com

DİZİNLER VE PLATFORMLAR

[DERGİPARK](#)

[ResearchBib](#)

[DRJI](#)

[Index Copernicus](#)

[ASOS Index](#)

E-ISSN: 2687-2927

Yeni dizinlere başvurular yapılmış olup gelecek sayılarda eklenmiş olması planlanmaktadır.

İÇİNDEKİLER

ATIK KARTON KATKILI YENİ NESİL ÇİMENTOLU HARÇ ÜRETİMİNDE CAM LİFİ KULLANIMININ YÜKSEK SICAKLIK ETKİLEŞİM DİRENCİNE ETKİSİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 1-30 / Yazarlar: Şevket Onur KALKAN, Lütfullah GÜNDÜZ

DİMETİL ETERİN BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA CO EMİSYONUNA ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Araştırma Makalesi

Sayfa: 31-60 / Yazar: İsmet SEZER

19. YÜZYIL GELENEKSEL TARAKLI EVLERİNDE RESTORASYON ÖNERİSİ: KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ KAPSAMINDA İBRAHİM KAYA EVİ ÖRNEĞİNİN İNCELENMESİ

Araştırma Makalesi

Sayfa: 61-85 / Yazar: Özlem ÖZKAN ÖNÜR

UMÜFED

ULUSLARARASI
BATI KARADENİZ
MÜHENDİSLİK
VE FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ

Değerli Okurlarımız,

Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi'nin yedinci cilt birinci sayısını yayınlamanın mutluluğunu yaşıyoruz.

Gönderilen makaleler arasından altı makale bu sayımızdaki hakemler tarafından yayınlanmaya değer bulunmuştur.

Şevket Onur KALKAN ve Lütfullah GÜNDÜZ tarafından hazırlanan ilk çalışmada 3 mm uzunluğunda fiziksel geri dönüşümlle elde edilmiş tekstil tipi cam lifi kullanılarak üretilen çimentolu hafif kompozit harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanında harçların doğrudan aleve maruz bırakılması sonucu taşıyabildiği en büyük sıcaklıklar ve bu sıcaklıklara karşılık gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Bu çalışmada, atık karton harçlarda çimento, agrega ve dolgu malzemeleri ile birlikte kompozit harç hazırlanmasında kullanılan ana bileşendir. Ayrıca, yüksek sıcaklık etkisinde yanmayı geciktirme ve duman oluşumunu engellemek amacıyla toz formda alüminyum trihidrat (ATH) kullanılmıştır. Cam liflerin çimentolu kompozit harçların yüksek sıcaklık dayanıklılığı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla atık karton yerine ağırlıkça %0, %0,25, %0,50, %0,75, %1,00, %1,50, %2,00, %3,00, %4,00 ve %6,00 oranlarında cam lifi kullanılarak 10 farklı kompozit harç karışımı üretilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, lif oranı arttıkça harçların su emme ve görünür gözeneklilikleri azalmış, eğilme dayanımları beklendiği üzere artmıştır. Lif kullanımının artması, aleve maruz kalan yüzeyde oluşabilecek en büyük sıcaklık değerini 902 °C'den 1088 °C'ye kadar çıkarabilmiştir. Bunun yanında, malzemenin yüzey sıcaklığındaki artışa rağmen lif kullanımı ile doğrudan aleve maruziyet sonrası harçların ağırlık kaybı azalmıştır.

İsmet SEZER tarafından hazırlanan ikinci makalede, DME'nin buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt veya yakıt katkısı olarak kullanılması üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarından derlenmiştir. Bu derleme çalışması buji ateşlemeli motorlarda DME kullanımının özellikle CO emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır.

Özlem ÖZKAN ÖNÜR tarafından hazırlanan üçüncü makalede, Osmanlı sivil mimarisinin özgün bir örneği olan İbrahim Kaya Evi'nde analiz ve tespit çalışmaları yapılmış, yapının korunmasına yönelik temel sorunlar belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. İbrahim Kaya Evi'nin rölöve, restorasyon ve restitüsyon projelerinin hazırlanması, gelecekteki restorasyon uygulamalarına bilimsel bir temel oluşturması ve rehberlik etmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Planlanan restorasyon çalışmalarının, yapının tarihi ve kültürel değerlerini koruyarak Taraklı'nın kültürel mirasının gelecek kuşaklara aktarılmasında ve korunmasında kritik bir rol oynayacağı öngörülmektedir. Bu sayede hem yerel toplumun kültürel kimliğinin güçlendirilmesi hem de bölgenin turistik potansiyelinin artırılması hedeflenmektedir.

Dergimize çalışmalarını gönderen değerli yazarlarımıza, hazırlanmasında emeği geçen alan editörlerine ve kıymetli vakitlerini ayırarak makaleleri değerlendiren hakemlerimize teşekkür ediyoruz. Sonraki sayılarda siz değerli okurlarımızın önerileriyle ve gönderecekleri makalelerle desteklerini esirgemeyeceklerinden eminiz. Bu vesileyle gelecek sayımızın Aralık 2025 tarihinde yayınlanması planlandığını hatırlatıyor, gelecek sayıya da çalışmalarınızı bekliyoruz. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi'nin bu sayısının da ilim dünyasına hayırlı olmasını diliyor, saygılarımı sunuyorum. 18.07.2025

BAŞ EDITÖR

Doç. Dr. Eyüp Burak CEYHAN

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

ATIK KARTON KATKILI YENİ NESİL ÇİMENTOLU HARÇ ÜRETİMİNDE CAM LİFİ KULLANIMININ YÜKSEK SICAKLIK ETKİLEŞİM DİRENCİNE ETKİSİ

Sevket Onur KALKAN^{1,a,*}, Lütfullah GÜNDÜZ^{2,b}

¹İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi MMF İnşaat Mühendisliği Bölümü,

²İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi MMF İnşaat Mühendisliği Bölümü

^a sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0250-8134

^b lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2487-467X

ÖZET

Yangın, insan hayatı ve mühendislik yapıları için önemli bir tehdittir. İnşaat mühendisleri ve mimarlar, tasarım amaçlarından ve yangın güvenliği gerekliliklerinden ödün vermeden, daha güvenli ve sürdürülebilir ürün arayışı içerisinde olmaktadır. Bu sebeple, yapılarda çok yoğun bir şekilde kullanılan beton ve çimentolu diğer ürünlerin yangına karşı direncinin artırılması araştırmacılar tarafından geliştirilen önemli bir konudur. Bu amaçla, bu çalışmada, 3 mm uzunluğunda fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam lifi kullanılarak üretilen çimentolu hafif kompozit harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanında harçların doğrudan alev maruz bırakılması sonucu taşıyabildiği en büyük sıcaklıklar ve bu sıcaklıklara karşılık gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Bu çalışmada, atık karton harçlarda çimento, agrega ve dolgu malzemeleri ile birlikte kompozit harç hazırlanmasında kullanılan ana bileşendir. Ayrıca, yüksek sıcaklık etkisinde yanmayı geciktirme ve duman oluşumunu engellemek amacıyla toz formda alüminyum trihidrat (ATH) kullanılmıştır. Cam liflerin çimentolu kompozit harçların yüksek sıcaklık dayanıklılığı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla atık karton yerine ağırlıkça %0, %0,25, %0,50, %0,75, %1,00, %1,50, %2,00, %3,00, %4,00 ve %6,00 oranlarında cam lifi kullanılarak 10 farklı kompozit harç karışımı üretilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, lif oranı arttıkça harçların su emme ve görünür gözeneklilikleri azalmış, eğilme dayanımları beklendiği üzere artmıştır. Lif kullanımının artması, alev maruz kalan yüzeyde oluşabilecek en büyük sıcaklık değerini 902 °C'den 1088 °C'ye kadar çıkarabilmiştir. Bunun yanında, malzemenin yüzey sıcaklığındaki artışa rağmen lif kullanımı ile doğrudan alev maruziyet sonrası harçların ağırlık kaybı azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğrudan alev, yüksek sıcaklık, kompozit harç, cam lif, ağırlık kaybı.

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

Atıf (Citation): Kalkan, Ş.O., Gündüz, L., "Atık Karton Katkılı Yeni Nesil Çimentolu Harç Üretiminde Cam Lifi Kullanımının Yüksek Sıcaklık Etkileşim Direncine Etkisi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 7(1): 1-30, 2025.

Geliş (Received): 28/09/2024

Kabul (Accepted): 17/07/2025

Yayın (Published): 18/07/2025

Effect of Glass Fiber Use on High Temperature Interaction Resistance in the Production of New Generation Cement Mortar with Waste Cardboard Additive

ABSTRACT

Fire is a significant threat to human life and engineering structures. Civil engineers and architects are in search of safer and more sustainable products without compromising design objectives and fire safety requirements. For this reason, increasing the fire resistance of concrete and other cementitious products, which are used intensively in structures, is an important issue developed by researchers. For this purpose, in this study, the physical and mechanical properties of lightweight cementitious composite mortars produced using 3 mm long physically recycled textile type glass fiber, as well as the maximum temperatures that the mortars can withstand when exposed directly to flame and the weight losses corresponding to these temperatures were determined. In this study, waste cardboard is the main component used in the preparation of composite mortar together with cement, aggregate and filler materials. Additionally, aluminum trihydrate (ATH) was used in powder form to delay combustion and prevent smoke formation under high temperature conditions. In order to determine the effect of glass fibers on the high temperature resistance of cementitious composite mortars, ten different composite mortar mixtures were produced by using glass fibers at the rates of 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.50%, 2.00%, 3.00%, 4.00% and 6.00% by weight instead of waste cardboard. According to the study results, as the fiber ratio increased, the water absorption and apparent porosity of the mortars decreased, and their flexural strength increased as expected. The increase in the use of fibers increased the maximum temperature value that could occur on the surface exposed to flame from 902 °C to 1088 °C. In addition, despite the increase in the surface temperature of the material, the weight loss of the mortars directly after exposure to flame decreased with the use of fibers.

Keywords: Direct flame, high temperature, composite mortar, glass fiber, weight loss.

1. GİRİŞ

Cam elyafı, yüksek çekme mukavemeti, mükemmel elastisite, iyi termal performans, mükemmel su direnci, iyi elektrik yalıtımı, iyi ısı yalıtımı, iyi ses yalıtımı ve büzölmeye karşı direnç kabiliyeti ile karakterize edilmektedir [1]. Lif kullanımının çimentolu ürönlere ilave ettiğı avantajın genellikle mekanik özellikler üzerinde olması beklenmektedir [2–5]. Literatüre göre, cam elyaf takviyeli betonunun basınç ve eğilme dayanımı lif hacmi oranı ile artarken, optimal miktar aşıldığında dayanım azalmaktadır [6,7]. Çankal ve arkadaşları [8],

%1 cam elyaf takviyesinin çimento harcının eğilme dayanımını referans harca göre %21,22 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Kısa boyutlu cam elyaflar öncelikle mikro çatlakların yayılmasını kontrol ederken ve nihai mukavemeti artırırken, uzun cam elyaflar ise makro çatlakları durdurur ve betonun çatlak sonrası deformasyonunu iyileştirir. Cam elyaf takviyeli kompozitin çekme mukavemeti elyaf karakteristik özelliklerine (elyaf uzunluğu, elyaf dağılımı, elyaf yönelimi) bağlıdır [9]. Kolon-kiriş birleşimlerine cam elyafların dahil edilmesi sertliklerini, sünekliklerini ve mukavemetlerini iyileştirmiştir [10]. Atık cam elyaflarının %2 oranında kullanılması, silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarının aşınma direncini önemli ölçüde artırmıştır [11]. Cam elyaf takviyeli beton, köprü döşemeleri gibi geniş yüzeylerde erken yaşta oluşan mikro çatlakları azaltmak için uygundur [12]. Ancak, cam elyaf katkılı çimentolu ürünlerin özellikleri sadece mekanik açıdan beklentileri karşılaması değil cam elyafı kullanılarak üretilen çimentolu ürünlerin, zorlu çevre koşullarına maruz kaldığında daha uzun bir hizmet ömrüne sahip olması beklenmektedir [6].

Çimentolu ürünler kullanım yerine göre yüksek sıcaklığa maruz kalabilirler. Yüksek sıcaklığa maruz kalan beton veya çimento bağlayıcılı ürünler yüksek sıcaklıktan olumsuz yönde etkilenirler. Sıcaklık ortalama 105 °C olduğunda, standart formülasyonda üretilen çimentolu ürün içerisindeki kılcal su ve adsorbe edilen su buharlaşır. Sıcaklık 200 °C olduğunda, C-S-H koloidi bağ kuvvetini kaybeder. Sıcaklık 250 - 300 °C aralığına ulaştığında, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'ün hidratlarının çoğu veya C-S-H koloidinin bağlı suyu kaybolur. Sıcaklık 400 - 700 °C aralığında, C-S-H koloidinin kalan bağlı suyu tamamen ayrışır. Sıcaklık 500 °C olduğunda, hidrate çimentodaki suyun çoğu kaybolur. Sıcaklık 440 - 580 °C olduğunda, hidrate çimentodaki $Ca(OH)_2$ ayrışır [7]. 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, çimento pastası büzülmeye başlar ve agregalar genleşmeye başlar, bu da matriste önemli termal gerilmelerine neden olur [13]. Bu da matristeki çatlakları artırır ve çimento pastası ile agregalar arasındaki bağ azaltır, bunun sonucunda da mukavemet daha da bozulur [14]. Cam lifi takviyeli çimentolu kompozit harçların iyi derecede yangın direncine sahip olabileceği literatürde belirtilmektedir [13,15]. Liflerin kullanımı, termal kaynaklı çatlakların oluşumunu ve yayılmasını azaltarak betonun yangına karşı dayanıklılığını artırabilir [16,17]. Ayrıca, cam elyaf yüksek ısı ve yangın dayanımına sahip oksitlerin bir karışımını içerdiğinden kolaylıkla yanmaz, ancak yüksek sıcaklıklarda yumuşayabilir ve eriyebilir. Bu da cam elyafın yangına karşı dirençli ürün üretiminde kullanılabilmesine olanak tanımaktadır.

Literatürde polipropilen ve çelik lifleri kullanılarak üretilen çimentolu ürünlerin yüksek sıcaklık özelliklerinin incelendiği geniş miktarda çalışma bulunmaktadır. Serrano ve arkadaşları [18], 400°C sıcaklıkta açık aleve maruz bırakılan betonun basınç ve çekme davranışını incelemişlerdir. Polipropilen lif ile güçlendirilmiş betonun, çelik lif ile güçlendirilmiş muadilinden yangına karşı daha dayanıklı olduğu ve %2 polipropilen lif eklenmesinin betonun yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımını kontrol karışımına göre %68 oranında artırdığını tespit etmişlerdir. Lee ve arkadaşları [19], yüksek polipropilen lif içeriğinin kullanılmasının 400 °C'ye maruz kalan betonda mikro çatlakların oluşmasına yol açtığını bildirmiştir. Yermak ve arkadaşları [20] tarafından da benzer bulgular rapor edilmiştir; polipropilen lif ile güçlendirilmiş beton karışımlarının çelik lif ile güçlendirilmiş muadillerine göre yüksek sıcaklık etkileşimi sonrası daha gözenekli olduğu belirtilmiştir. Jameran ve arkadaşları [21], çelik lif ve polipropilen lif içeren betonun yangın davranışını incelemişlerdir. Toplam lif içeriği %1,5'ta sabit tutulmuş ve betona farklı oranlarda çelik lif ve polipropilen lif eklenmiştir. Yangına maruz kaldıktan sonra en yüksek mukavemet %100 çelik lif ve %0 polipropilen lif içeriklerinde elde edilmiştir. Doğrudan alev etkisi testi, bir numunenin aleve veya ateşe doğrudan maruz bırakılması sırasında alev direncini belirlemek için, yarı nitel bir yöntemdir [22,23]. Bu yöntemde, belli periyotta sıcaklık farkı kaydedilir ve zaman-sıcaklık korelasyonu olarak değerlendirilir ve ayrıca fiziksel değişiklikler de tespit edilir. Yayınlanmış literatürde, doğrudan alev uygulamaları [24], doğrudan alev direnci testleri [25], yangına dayanıklılık testleri [26,27], yangın geciktirici testleri [28] ve çok sayıda farklı malzeme için çok sayıda yangın/alev performansı araştırması, yangın davranışı ve yangın performansı üzerine kapsamlı bir şekilde incelenmektedir [29].

Son yıllarda ise çimentolu ürünlerde cam lifi yüksek yangın direnci özelliklerinin artırılması bağlamında araştırmalara konu olmaktadır. Moghadam ve Izadifard [30], betonun yangına dayanıklılığını iyileştirmede çelik lif ve cam elyafın performansını karşılaştırmıştır. %0,25 cam elyaf ile takviye edilmiş karışımın, kontrol karışımından %213 daha yüksek olan en yüksek çekme mukavemetini gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca cam elyafları 500 °C'de kayma direncini artırmada etkili olarak bulunmuştur. Wang ve arkadaşları [7] Farklı uzunluk ve oranlarda kullanılan cam elyafların betonun basınç dayanımı ve eğilme dayanımına olan etkilerini ve yüksek sıcaklık etkisi sonrası betonu test etmişlerdir. Cam elyafların eklenmesinin, yüksek sıcaklık etkisinden sonra betonun basınç dayanımını artırabildiğini ve bu artışın elyaf uzunluğu ve miktarıyla arttığını tespit etmişlerdir.

Ravikumar ve Thandavamoorthy [31] yaptıkları çalışmalarında cam elyaf eklenmeden üretilen beton örneklerinin 300°C sıcaklığa 2 saat maruz bırakıldıklarında basınç dayanımındaki değişim yüksek sıcaklık etkisi olmadan normal dayanımına göre %32 daha azdır. %0,5 cam elyaf eklenmesiyle, basınç dayanımındaki azalma orijinal dayanımına göre %25'tir. Benzer şekilde, %1 elyaf eklenmesiyle, basınç dayanımındaki azalma orijinal dayanımına göre %10'dur. Bu çalışmada, normal betonla karşılaştırıldığında elyaf takviyeli betonun yangına karşı daha yüksek bir dirence sahip olduğunu tespit edilmiştir. Moosaei ve arkadaşları [14] %0,5, %1, %1,5 ve %2 olmak üzere dört farklı lif içeriğine sahip çelik lif, polipropilen lif ve cam lif olmak üzere üç farklı lif türüyle güçlendirilmiş betonun yangına dayanıklılığını araştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, yüksek sıcaklık etkileşimi sonrası en büyük basınç ve eğilme dayanımları, %0,5 cam lif içeren karışımlar için elde edilmiş ve bunlar kontrol karışımından sırasıyla %117 ve %145 daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Keykha [32] cam elyaf takviyeli betonun basınç, çekme ve eğilme dayanımları üzerinde yüksek sıcaklığın etkilerinin incelenmesi amacıyla betona %1, %2 ve %3 oranlarında cam elyaf ilave etmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, cam elyaf 600 °C'de erimemiş ve bu sıcaklıkta ısıtıldığında özellikleri azalsa da beton numunelerin çekme ve eğilme dayanımlarını iyileştirmede etkililiğini koruduğu tespit edilmiştir. Wu ve arkadaşları [33] cam elyafı ve yüksek sıcaklığın geri dönüştürülmüş agregalı betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiş ve yüksek sıcaklık etkisi sonrası cam elyaflı betonun basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımlarının cam elyafsız kontrol betonununkinden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir.

İnşaat ve yapı sektörü, teknolojilerdeki sürekli yenilikler ve ilerlemelerle yönlendirilen sürekli bir gelişme yaşamaktadır. Bu ilerlemelerin önemli bir alanı, yaygın kullanılan inşaat malzemelerinin sürdürülebilirliğini artırmak için yeni hammaddelerin kullanılmasıdır. Atık malzemelerin ve katkı maddelerinin çimentolu ürün imalatına entegrasyonu, atıkların zararlı çevresel etkisini azaltmayı amaçlayan bir stratejidir. Bu çalışmada kolaylıkla yanabilen karton atıkları üretilen çimento harcında dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Verimli ve doğa dostu ürünlerin geliştirilmesinde geri dönüştürülmüş malzemelerin çimentolu bileşenlerde kullanımı önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yangına dayanıklı yapılar üzerindeki etkileri incelenmek üzere iki farklı atık malzeme değerlendirilmiştir: atık karton ve tekstil çamuru. İzmir'deki geri dönüşüm firmalarından temin edilen karton, öğütülerek 1 mm'nin altındaki boyutlara getirilmiş; tekstil çamuru ise kot kumaşların yıkama işlemi sırasında oluşan

atıklardan elde edilip kurutularak kullanılmıştır. Bu malzemeler, sürdürülebilirlik ve atık yönetimi açısından alternatif lifli katkıları olarak ele alınmıştır. Haigh ve arkadaşları [34] çalışmalarında, atık kartondan elde edilen kraft liflerinin (KF) çimentolu kompozitlerdeki mekanik performansa etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Beton örneklerinde çimento yerine kısmen metakaolin (MK) ve kraft lifleri kullanılmış; ayrıca liflerin çimento matrisindeki alkali ortamdan daha az etkilenmesi için yüzeyleri silika dumanı (SF) ile kaplanmıştır. Üç farklı karışım tasarımı değerlendirilmiş: %5 ham KF içeren, %5 yüzey modifiye edilmiş KF içeren ve matris modifiye edilmiş örnekler. Tüm KF içeren karışımların basınç dayanımı kontrol örneğine göre düşük olmakla birlikte, MK modifikasyonu uygulanan numuneler en yüksek çekme dayanımını (11 MPa) göstermiştir. Lif modifikasyonu yapılan numunelerde ise 20 MPa basınç ve 9 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. Ham KF'li örnekler ise 2.5 MPa ile en yüksek eğilme dayanımına sahip olmuştur. Kontrol örneğinin dayanımları sırasıyla 25 MPa (basınç), 10 MPa (çekme) ve 2.6 MPa (eğilme) olarak ölçülmüştür. Ahmad ve arkadaşları [35] çalışmalarında atık kartonun agrega yerine kısmen kullanımıyla düşük maliyetli, hafif ve çevre dostu beton tuğlalar üretme potansiyeli incelemişlerdir. Standart bir karışım oranı bulunmadığından, deneysel olarak 1:1:1.5, 1:1:2 ve 1:2:4 (çimento: karton: kum) oranlarında üç farklı karışım tasarımı denenmiştir. Hazırlanan küp numuneler 7, 14 ve 28 gün kür edilerek basınç dayanımı test edilmiştir. Sonuçlar, karton katkısının dayanımı düşürdüğünü ortaya koymuş; bu nedenle bu tür tuğlaların sadece yük taşımayan duvarlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma, atık kartonun sürdürülebilir yapı malzemesi olarak kullanımına katkı sağlamaktadır.

Yüksek sıcaklığa dirençli harçlar çimento, kum, yüksek alümina içerikli kil ve kalsiyum alüminat gibi diğer özel bileşenlerin bir karışımı olarak yapılabilir. Mika, doğal bir mineral olarak genellikle hidro alüminyum silikat bileşiği formundadır. Yüksek ısıya direnci sebebiyle birçok ev aletlerinin yapımında da yaygın kullanıla gelen inorganik bir malzemedir [36]. Bu makalede, doğal mika ve kıyılmış atık karton ana dolgu materyali olarak kullanılmış ve cam elyaf ilavesiyle ısı dirençli çimento harçları üretilmiştir. Harçların doğrudan alev maruz kalmadan önceki fiziksel ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Ayrıca, özellikle üretilen hafif harçların yüzeylerine doğrudan alev uygulanmış ve harçların ulaşabileceği en büyük sıcak değerleri tespit edilmiştir. Araştırmanın ana odak noktası olarak, cam lif miktarındaki değişim ile malzemelerin yüzeylerinde taşıyabilecekleri en yüksek sıcaklık değerlerindeki değişimi tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Harç Tasarımlarında Kullanılan Malzemeler

Çalışma kapsamında üretilen kompozit harçlarda bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Harç üretiminde ana agrega olarak tane boyutu 1/2 mm olacak şekilde Nevşehir bölgesinden temin edilen pomza kullanılmıştır. Karışım tasarımında Aydın ilinden en büyük tane boyutu 350 µm olarak (tane boyutu 0/350 µm aralığında) sınıflandırılmış şekilde tedarik edilen doğal mika minerali bu çalışmada yüksek sıcaklığa dayanıklılığı iyileştirmek için dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır.

Verimli bir ürün, yüksek performans, verimlilik, ekonomiklik ve doğa dostu özelliklere sahip olmalıdır. Bu bağlamda, geri dönüşüm ilkesini benimseyen ürünlerin çimentolu bileşenlerde kullanılabilirliği önemlidir. Bu sebeple, geri dönüştürülmüş malzemelerin değerlendirilmesi ve yangına dayanıklı yapılar üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, atık karton, çimento, agrega ve dolgu malzemeleri ile birlikte kompozit harç hazırlanmasında kullanılan ana bileşendir. Karton esas olarak odun selülozundan oluşur ve kayadan sonra dünyada en bol bulunan ikinci malzeme olarak kabul edilen lifli bir malzeme olarak kabul edilir [37]. Atık karton, İzmir ilindeki geri dönüşüm firmalarından tedarik edilmiştir. Mukavva ve ambalaj sanayi üretiminde kullanılan karton kağıtların, üretim artıkları öncelikle kıyılmış ve en büyük boyutu 1 mm altında olacak şekilde sınıflandırılarak karışımlarda kullanılmıştır. Çalışma kapsamında atık değerlendirme ve sürdürülebilirlik açısından kullanılan bir diğer lifli malzeme ise tekstil çamurudur. Bu malzeme, kot kumaşların yıkama işleminde proseste oluşan tekstil partiküllerinin yoğun olarak yer aldığı bir atıktır. Tekstil çamuru öncelikle susuzlaştırılmış ve daha sonra etüvde kurutularak kullanılmıştır. Karışımların viskozitesinin kontrolü için 150000 mPa.s viskoziteli selüloz eter kullanılmıştır.

Karışım tasarımlarında, yüksek sıcaklık etkisinde yanmayı geciktirme ve duman oluşumunu engellemek amacıyla toz formda alüminyum trihidrat (ATH) kullanılmıştır.

Bu deneysel çalışmada, cam liflerinin kompozit harçlarda değerlendirilmesi ile harcın doğrudana alev kaynağı altındaki performansını incelemek için, ortalama 3 mm uzunluğunda fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam lif kullanılmıştır. Cam lifinin özgül ağırlık ağırlığı 2,60 gr/cm³, lif çapı 11-16 (±%18) µm, çekme dayanımı >3000 MPa, Elastisite Modülü ≥62 GPa, nem oranı <%0,12 ve iplik oranı <%0,10'dur.

Çalışmada kullanılan çimento, mika ve pomzanın kimyasal içeriği Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Karışımlarda kullanılan bazı malzemelerin kimyasal bileşenleri

Bileşen	CEM I-42.5R (%)	Mika (%)	Pomza (%)
SiO ₂	20,26	54,15	74,10
Al ₂ O ₃	3,65	28,56	13,45
Fe ₂ O ₃	4,38	1,01	1,40
TiO ₂	-	0,333	-
CaO	64,37	0,19	1,17
MgO	1,37	1,65	0,35
Na ₂ O	0,25	0,99	3,70
K ₂ O	0,49	9,01	4,10
P ₂ O ₅	-	0,09	-
Kızdırma Kaybı	-	3,54	1,34

2.2. Kompozit Harç Tasarımları ve Deneysel Metotlar

Bu deneysel çalışmada, cam liflerinin çimento esaslı kompozit harçların yüksek sıcaklık dayanıklılığı üzerindeki etkisini araştırmak için 10 farklı harç karışım oranı tasarlanmıştır. Cam lifi içermeyen referans karışımı, cam lifi kullanımından kaynaklanabilecek etkileri doğru bir şekilde incelemek için bir referans çimentolu kompozit harç karışımı olarak tasarlanmıştır. Çimentolu kompozit harç karışım tasarımı Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Çimentolu kompozit harç örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım tasarımı (ağırlıkça %)

Karışım	Çimento	ATH	Tekstil Çamuru	Selüloz Eter	Pomza	Mika	Atık Karton	Cam Lifi	Su/katı
R	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	17,85	0,00	1,20
CL0,25	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	17,60	0,25	1,20
CL0,50	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	17,35	0,50	1,20
CL0,75	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	17,10	0,75	1,20
CL1,00	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	16,85	1,00	1,20
CL1,50	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	16,35	1,50	1,20
CL2,00	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	15,85	2,00	1,20
CL3,00	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	14,85	3,00	1,20
CL4,00	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	13,85	4,00	1,20
CL6,00	30,00	1,20	3,50	0,45	21,00	26,00	11,85	6,00	1,20

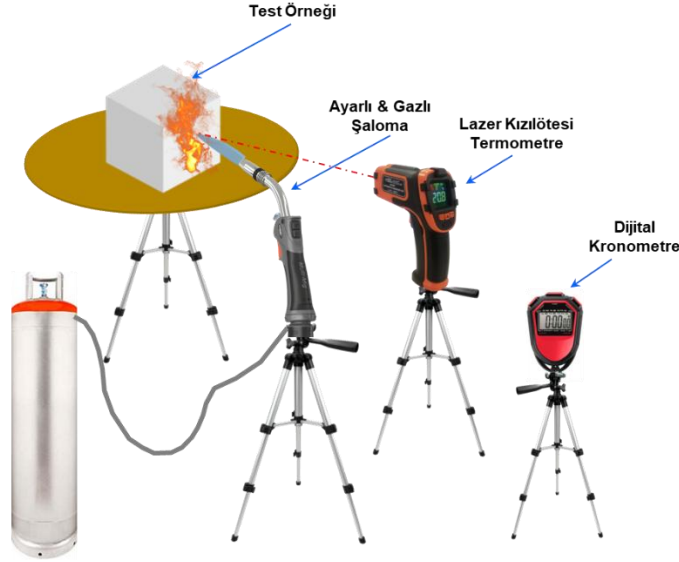
Tablo 2’den de rahatlıkla görülebileceği gibi, cam liflerin çimentolu kompozit harçların yüksek sıcaklık dayanıklılığı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla atık karton

yerine ağırlıkça %0, %0,25, %0,50, %0,75, %1,00, %1,50, %2,00, %3,00, %4,00 ve %6,00 oranlarında cam lifi kullanılarak 10 farklı kompozit harç karışımı üretilmiştir. Tüm karışım tasarımında uygun bir karşılaştırma yapabilmek için çimento (ağırlıkça %30), ATH (ağırlıkça %1,20), tekstil çamuru (ağırlıkça %3,50), selüloz eter (alırılıkça %0,45), pomza (ağırlıkça %21,00) ve mika (ağırlıkça %26,00) oranı sabit tutulmuştur. Ayrıca, tüm on karışım için yeterli işlenebilirliği sağlamak amacıyla su/katı oranı 1,20 olarak sabitlemiştir. Karıştırma aşamasında, önce tüm katı formdaki bileşenler miksera konulmuş ve homojen kuru karışım elde etmek için 2 dakika karıştırılmıştır. Taze çimento esaslı kompozit karışımları üretmek için miksera uygun olarak tespit edilen su miktarı eklenmiş ve karışım 2 dakika daha karıştırılmıştır. Su, normal musluk suyu olup sıcaklığı $20 \pm 2^\circ \text{C}$ olarak saptanmıştır. Numuneler, sıcaklığı $21 \pm 1^\circ \text{C}$ ve bağıl nemin %95 olduğu bir kür tankında kürlenmiştir.

Taze ve sertleştirilmiş harç birim ağırlıklarının tespiti, taze ve sertleştirilmiş kompozit numuneler üzerinde sırasıyla TS EN 1015-6 [38] ve TS EN 1015-10 [39] standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Görünür gözeneklilik ve kütlece su emme testleri ASTM C642-13 [40] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kompozit harçların eğilme ve basınç dayanımları TS EN 1015-11 [41] standardına uygun olarak saptanmıştır.

Doğrudan alev tutularak yüksek sıcaklık altında kompozit harçların davranışını incelemek için, Tablo 2’de verilen karışım tasarımı kullanılarak on seri $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler diğer testler için kullanılacak numuneler ile aynı şartlarda kür edilmiştir. Bu deneysel çalışmada, cam lifi içeren kompozit harçların yüksek sıcaklıktaki aleve maruz kaldığında doğrudan alev davranışı araştırılmıştır. Her bir seri için harç yüzeyleri, bir ayarlı ve gazlı şaloma kullanılarak ulaşabileceği en büyük sıcaklık değerine kadar ısıtılmıştır. Kullanılan şalomanın ucu ile numune yüzeyi arasındaki mesafe ortalama 2 cm olarak tutulmuştur. Çalışmada, numunelerin doğrudan aleve temas eden yüzeylerinin sıcaklığını ölçmek için profesyonel lazer tipi termometreler kullanılmıştır. Şalomanın açık alevi, test edilen her bir numunede ısıya maruz bırakılan numune yüzeyinin merkez noktasına denk gelecek şekilde konumlandırılmış olup, ortalama 1 cm çapında dairesel bir alanda yakma etkisi oluşturabilecek sıcaklık bölümü meydana getirilmiştir. Bu sıcaklık numune yüzeyi merkez noktasından başlayarak kenar bölümlerine doğru ısı akışı şeklinde azalan sıcaklık dağılımı sergilemektedir. Sıcaklık ölçümlerinde açık alev üreten şalomanın kızılötesi termometre üzerinde oluşturabileceği olası sıcaklık etkileşiminden etkilenmemesi için, tüm sıcaklık değerleri numune yüzeyinde merkezden 3 cm uzaklıkta

önceden işaretlenmiş noktasal bir konumdan alınmıştır. Bu noktasal konumda, şalomanın açık alev etkisinin oluşmadığı belirlenmiştir. Kompozit harçlar ortalama 7,50 dakika doğrudan aleve maruz bırakılmıştır. Bu süre içerisinde, aleve maruz kalan yüzeyden belli periyodik sıcaklık okumaları alınmıştır. Alev kaynağı, lazer sıcaklık ölçüm cihazı ve test numunesini içeren deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Sıcaklık etkisi analizi ölçüm düzeneğinin sembolik gösterimi

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

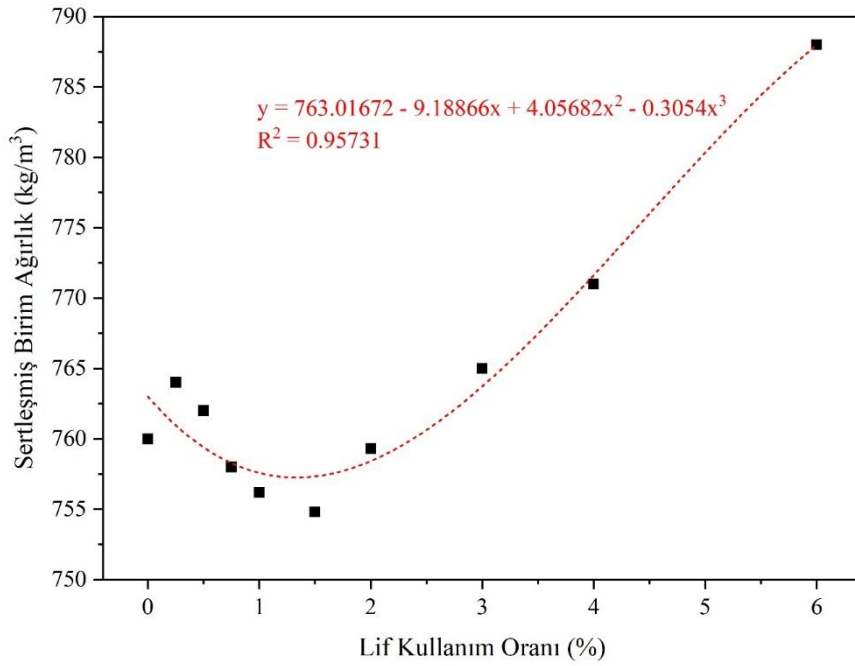
3.1. Harç Karışımlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Farklı karışım tasarımlarında hazırlanan çimentolu kompozit harç örneklerinin bazı teknik bulguları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çimentolu kompozit harç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

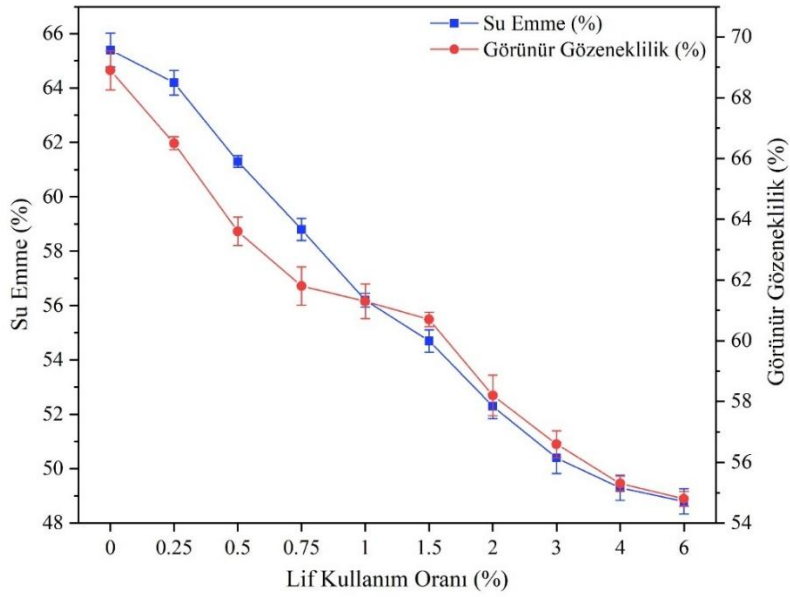
Karışım	Yaş Birim Ağırlık (kg/m ³)	Sertleşmiş Birim Ağırlık (kg/m ³)	Gözeneklilik Oranı (%)	Su Emme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
R	1389	760	68,9	65,4	8,67	1,35
CL0,25	1393	764	66,5	64,2	8,80	1,72
CL0,50	1395	762	63,6	61,3	8,63	1,99
CL0,75	1400	758	61,8	58,8	8,28	2,24
CL1,00	1339	756	61,3	56,2	8,25	2,52
CL1,50	1403	755	60,7	54,7	7,67	2,80
CL2,00	1407	759	58,2	52,3	8,33	3,12
CL3,00	1426	765	56,6	50,4	8,81	3,57
CL4,00	1442	771	55,3	49,3	9,03	3,71
CL6,00	1481	788	54,8	48,8	9,65	3,88

Çimentolu kompozit harç örneklerinin taze ve sertleştirilmiş yoğunlukları Tablo 3'te verilmiştir. Harçların taze birim ağırlıkları incelendiğinde, harçlarda atık karton çıkarılıp yerine cam lifi kullanıldığında, artan cam lifi miktarı ile taze birim ağırlıkların artma eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. Ancak, sertleşmiş birim ağırlıklarda, cam lif miktarının %1,50 kullanım oranına kadar harçların sertleşmiş birim ağırlıkları çok az da olsa düşmekte, bu değerden sonra sertleşmiş birim ağırlıklar artma eğiliminde olarak saptanmıştır (Şekil 2). Sertleşmiş harçlardaki bu birim ağırlık değişimleri atık kartonun ve cam liflerinin harçta hava sürüklemeye etkisinin farklılığından kaynaklanabilir. Literatürde hem lif kullanımının hava sürüklemeye etkisi olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir [33]. Benzer şekilde, atık karton kullanımının da gerek hafif bir malzeme olması gerekse selüloz içeriğinden dolayı hava sürüklemeye etkisi ile ürünleri hafifleten bir etkisi bulunmaktadır [37]. Bu çalışmada da nispeten daha hafif olan atık kartonun yerine cam liflerinin kullanılması harçlarda birim ağırlıkları belli bir orandan sonra artırmıştır. Ayrıca, TS EN 998-1 [42] standardına göre hafif harçların sertleşmiş yoğunlukları 1300 kg/m^3 'ten düşük olmalıdır. Bu çalışmada üretilen tüm kompozit harçlar bu koşula göre hafif harç kategorisinde değerlendirilebilmektedir. Bu deneysel çalışmada, çimentolu kompozit harçların sertleşmiş yoğunlukları 760 ile 788 kg/m^3 arasında değişmektedir. Literatürde, sertleşmiş yoğunluk aralığı $700\text{--}800 \text{ kg/m}^3$ olan harçlar/betonlar hafif/ultra hafif harç/beton olarak tanımlanmaktadır [43]. Bu bağlamda, bu çalışmada $700\text{--}800 \text{ kg/m}^3$ sertleşmiş birim ağırlıkta harçlar üretildiğinden bu harçlar ultra hafif harç olarak tanımlanabilir. Slosarczyk ve arkadaşlarının çalışmalarının sonuçlarına göre [44], silika aerojel içeren çimento esaslı kompozit ürünlerin sertleştirilmiş yoğunlukları $1,78$ ile $0,70 \text{ g/cm}^3$ arasında değişebilirken, geleneksel betonlar/çimento harçları $2,40$ ile $2,70 \text{ g/cm}^3$ arasında değişen yoğunluklara sahiptir. Öte yandan, 500 kg/m^3 gibi çok düşük yoğunluk değerine sahip aerojel kullanılarak üretilen ve ısı yalıtım özellikleri ultra yüksek olabilen ürünler olsa bile [45], bu ürünlerde mekanik özellikler açısından gerekli koşulları sağlayamama gibi bir sorun ortaya çıkabilir.



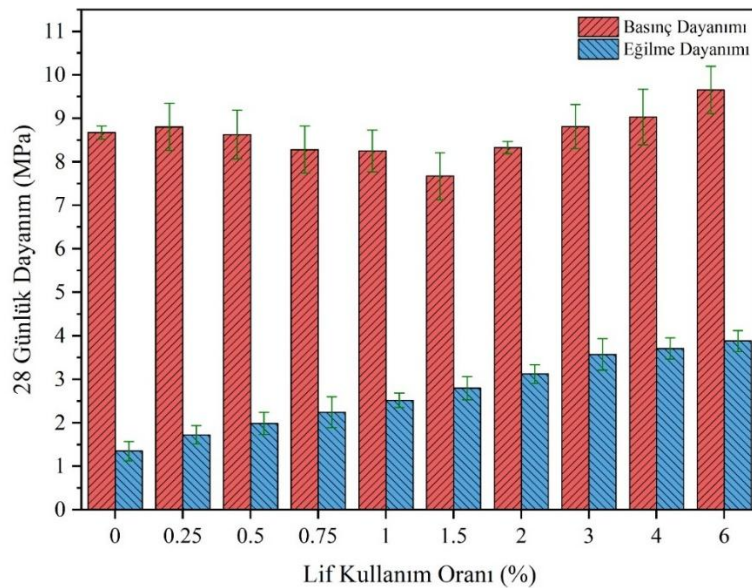
Şekil 2. Çimentolu kompozit harçların sertleşmiş birim ağırlıkları

Çimentolu kompozit harçların görünür gözeneklilik ve su emme değerleri Tablo 3 ve Şekil 3'te verilmiştir. Test sonuçlarına göre kompozit harçların hem su emmesi hem de görünür gözenekliliği cam lif kullanımındaki artışla azalmaktadır. Referans harçta görünür gözeneklilik %68,9 iken, harçtaki cam lif oranı arttıkça görünür gözeneklilik %54,8'e kadar (CL6,00 karışımı) azalmıştır. Bu çalışma kapsamında, atık karton ile cam lifleri yer değiştirilerek kullanılmıştır. Azalan atık karton ile artan cam lifi oranıyla birlikte harçların görünür gözenekliliğinin azaldığı gözlemlenmektedir. Literatürde hem cam lifinin hem de atık kartonun çimento bağlayıcılı ürünlerde hava sürüklediği ve/veya boşluk oluşturduğu belirtilmektedir [33,46]. Ancak, bu çalışmada büyük oranda selülozdan oluşan atık kartonların cam liflerine oranla harçlarda daha fazla hava sürükleyerek daha çok boşluk oluşturduğu sonucuna varılabilir. Böylece, azalan atık karton miktarı ile daha az boşluk harçta yer almış ve harçların görünür gözenekliliği azalmıştır. Benzer şekilde, yüksek su emme özelliğine sahip atık karton miktarı harçta azaldıkça harcın su emme değerlerinde de azalma olduğu gözlemlenmiştir. Referans karışımının su emme oranı %65,4 iken, cam lifi içeren harçların en düşük su emme oranı %48,8 olarak CL6,00 karışımında belirlenmiştir. Ayrıca cam liflerinin su emme kapasitesinin oldukça düşük olması nedeniyle harçların daha az su emdiği söylenebilir.



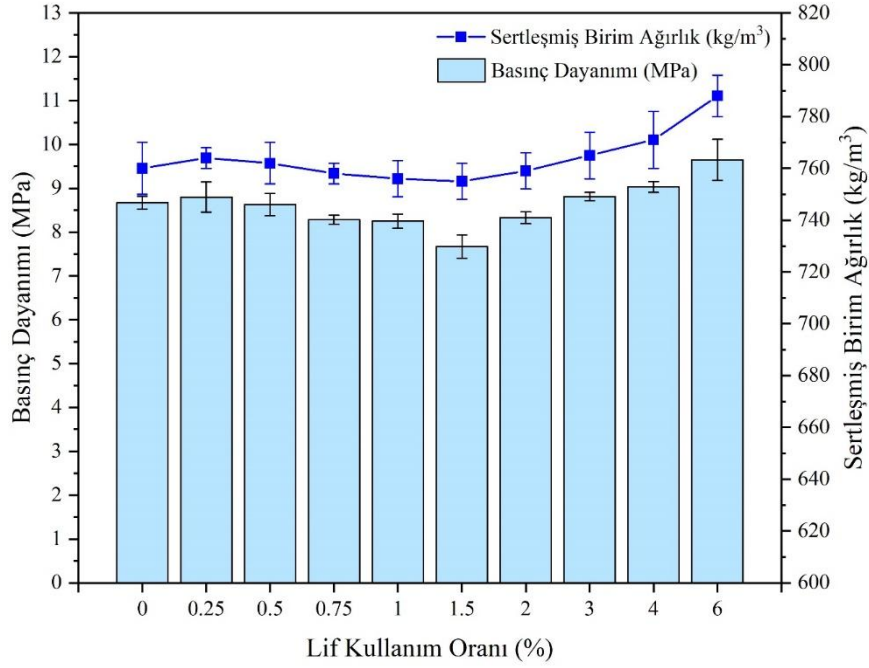
Şekil 3. Çimentolu kompozit harçların su emme ve görünür gözeneklilikleri

Çimentolu kompozit harçların 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı değerleri Tablo 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Cam lifi ile üretilen kompozit harçların %1,50 cam lifi kullanım oranına kadar basınç dayanımlarının referans harcının basınç dayanımına göre bir miktar da olsa azaldığı, bu oranın üzerinde cam lifi kullanımı ile harçların basınç dayanımlarının tekrar arttığı gözlemlenmektedir. Matris yapısının gözenekliliğinin azalması ve numunelerdeki sertleşmiş yoğunluğunun artması bu olgunun başlıca nedenidir. Ayrıca, yük altında liflerin harçta çatak gelişimini azaltması da çimentolu kompozit harçların dayanımını olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 4. Çimentolu kompozit harçların basınç ve eğilme dayanımları

Çimentolu malzemelerin sertleşmiş birim ağırlığı ile basınç dayanımının doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Kompozit harçların lif kullanım oranına bağlı sertleşmiş birim ağırlığı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Çimentolu kompozit harçların lif kullanım oranına bağlı basınç dayanımı ile sertleşmiş birim ağırlık ilişkisi

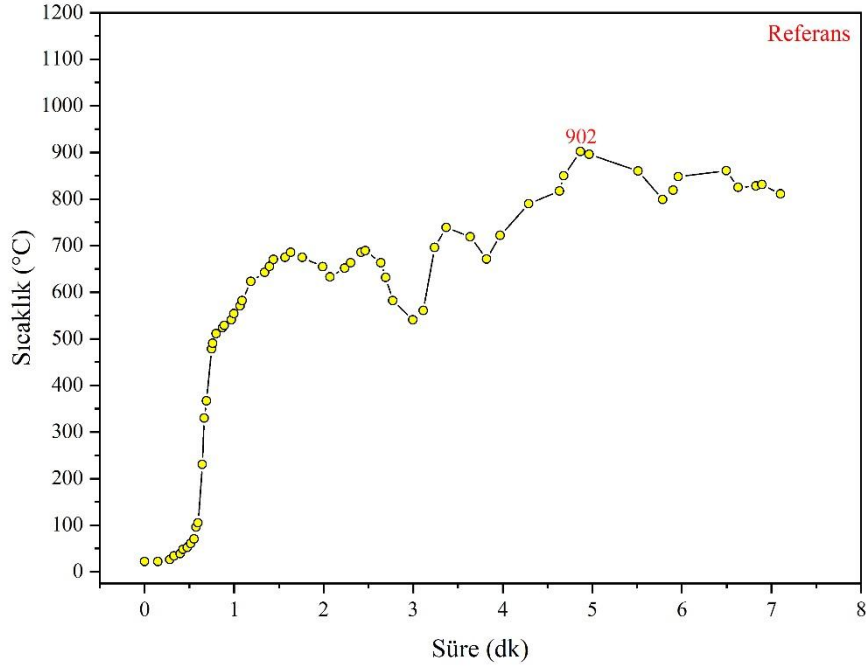
DeneySEL test sonuçlarına göre, çimento harçlarının sertleşmiş birim ağırlıkları ile basınç dayanımının doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. %1,50 lif kullanım oranına kadar harçların birim ağırlıklarının azaldığı, aynı şekilde basınç dayanımlarının da azaldığı, bu lif oranının üzerinde lif kullanıldığında birim ağırlığın arttığı ve basınç dayanımının da tekrar arttığı gözlemlenmiştir. Daha hafif formda olan karton atığının harç tasarımından çıkarılıp aynı oranda cam lifi katılması ile harçların birim ağırlığı artmış ve basınç dayanımları da benzer şekilde iyileşmiştir. Öte yandan bu çalışmada üretilen tüm numunelerin basınç dayanımı değerleri TS EN 998-1 [68] standardında belirtilen sınır değerler içerisinde kalmaktadır. Standarda göre 28 günlük basınç dayanımı aralığı dört sınıfa ayrılmaktadır; CS I kategorisi basınç dayanımı 0,4-2,5 MPa; CS II 1,5-5,0 MPa; CS III 3,5-7,5 MPa; CS IV kategorisi 6 MPa'dan büyük olanları kapsamaktadır. Ayrıca bu standartta ısı yalıtım harçlarının basınç dayanımının CS I veya CS II kategorisinde olması gerektiği belirtilmektedir. Deney numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre tüm sertleşmiş çimento harcı numuneleri CS IV sınıfı değer aralığında yer almaktadır. Sertleşmiş

çimento harcı numunelerinin basınç dayanımları 8,637-9,05 MPa aralığında değişmektedir. Bu değerler TS EN 998-1 [42] standardındaki mekanik şartları sağlayabilen iç ve dış mekân uygulamaları için uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 3 ve Şekil 4 incelendiğinde, R kodlu referans harcı örneğinin 28 günlük eğilme dayanımının ortalama 1,35 MPa olarak tespit edildiği görülmektedir. Test örneklerinde en yüksek eğilme dayanımı değeri ise %6 cam lifi kullanılan CL6,00 kodlu karışımlarda ortalama 3,88 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu mukavemet artışı, ilave yük taşıma kapasitesi sağlayan ve yapıyı mikro çatlaklardan koruyan lif/matris yapısının oluşumu ile ilişkilendirilebilir [5,47]. Cam liflerinin harçlarda eğilme dayanımını arttırdığı literatür çalışmalarında da tespit edilmiştir [13,31,46]. Çimento harçlarının eğilme dayanımları ile birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, test örneklerinin basınç dayanımı ve birim ağırlık ilişkisine benzer şekilde, birim ağırlıklar arttıkça eğilme dayanımları da artmıştır.

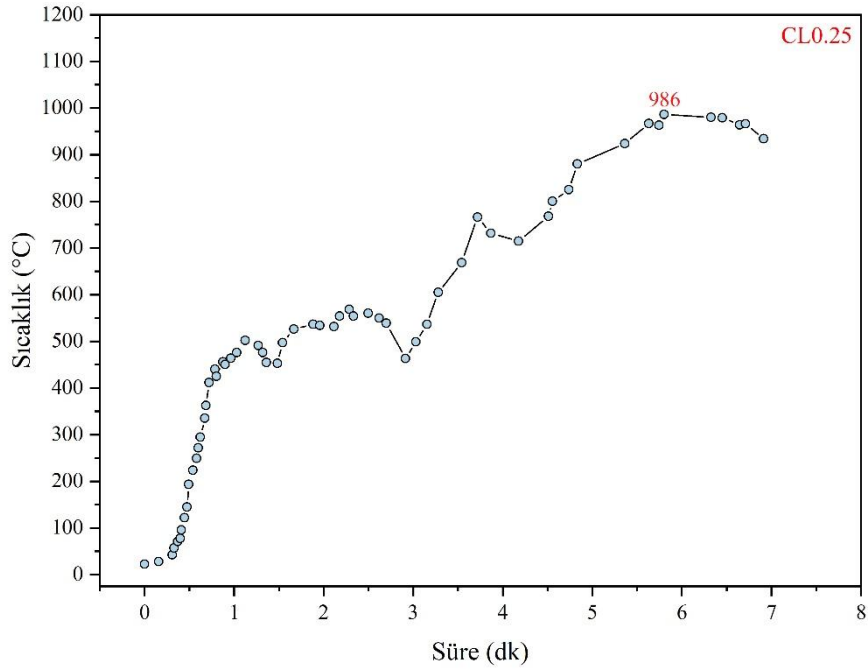
3.2. Doğrudan Alev Testi

Doğrudan alev maruz kalan referans ve test harçları için kaydedilen yüzey sıcaklıkları Şekil 6 ile Şekil 15 arasında verilmiştir. Referans çimento harcı örneği ve belli oranlarda cam lif içeren test örnekleri için, sıcaklıklar testin tüm süresi boyunca kaydedilebilmiştir. Test süresince cam liflerinde önemli bir bozunma olmadığı gözlemlenmiştir. Lazer termometre ile ölçülen sıcaklık eğrilerinin her birinde maksimum sıcaklık T_{maks} (°C), maksimum sıcaklığa alev etkisinin başlangıcından itibaren ne zaman (dakika) ulaşıldığıyla birlikte belirtilmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan alev testi yönteminde çimento esaslı harç örneklerinin yüzeyinden ölçülen sıcaklık değerlerinin artışı, harcın doğrudan sıcaklığa karşı dayanımının artması ve/veya iyileşmesi bağlamında değerlendirilmemektedir. Numune yüzeyinde artan ısı akısı sebebiyle, numune yüzeyinde gözlemlenebilen deformasyonlara bağlı kütle kaybı değerleri bazında bir değerlendirme yapılmıştır.

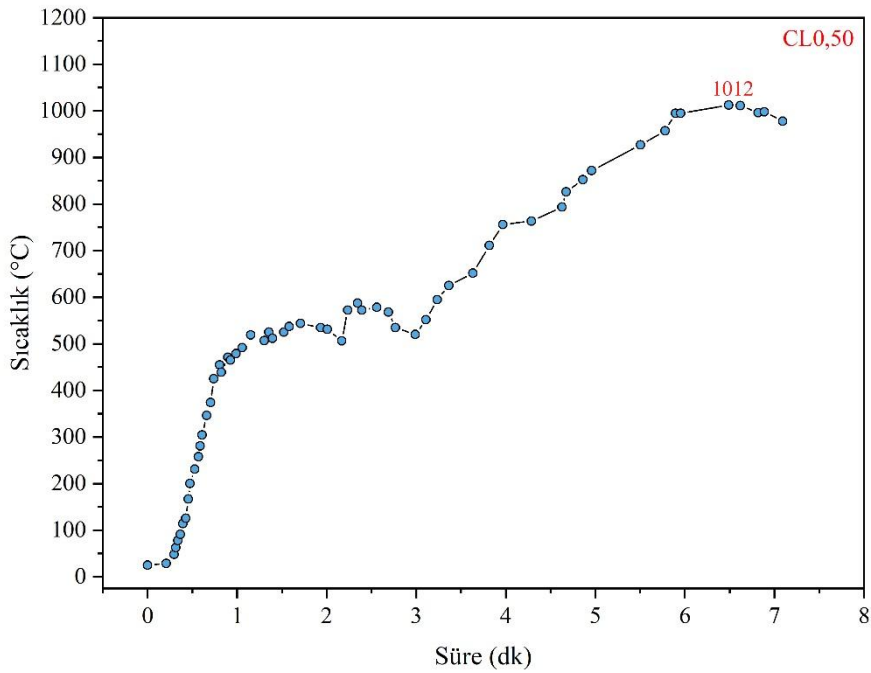


Şekil 6. Referans örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki

Şekil 6’da gösterilen referans örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre ilişkisi incelendiğinde, ilk 1 dakika içerisinde yüzey sıcaklığı aniden yükselerek ortalama 500 °C sıcaklığa kadar ulaşmakta, süre ilerledikçe yüzey sıcaklığındaki artışın ivmesi azalmaktadır. Ortalama 2. dakikada yüzey sıcaklığı ortalama 700 °C civarına yükselmiştir. Deneyin devam ettiği daha sonraki sürelerde yüzey sıcaklığında iniş çıkışlar olsa da ortalama 5. Dakikaya kadar yüzey ısınmaya devam etmiştir. Bu süreden sonra yüzeye alev tutulmasına rağmen yaklaşık 8. dakikaya kadar yüzey ısı artmamış aksine azalmaya başlamıştır. Referans örneği için kaydedilen maksimum sıcaklığın 902 °C olduğu gözlemlenmiştir. Referans örneğinin yüzey sıcaklığındaki dalgalanma harç örneği içerisinde bulunan atık kağıt ve selüloz eterin yanması ve geride boşluk bırakması şeklinde açıklanabilir.



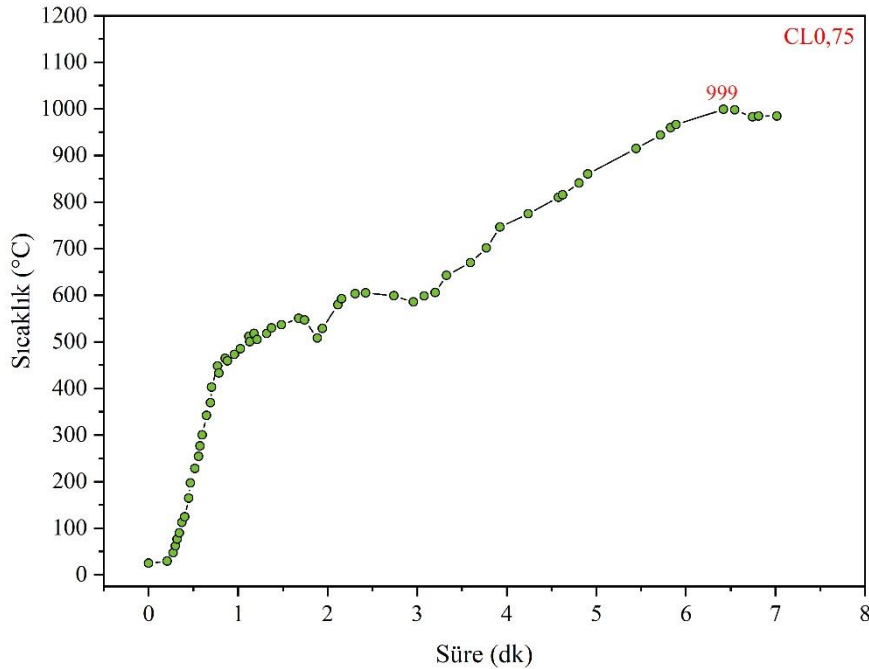
Şekil 7. CL0,25 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki



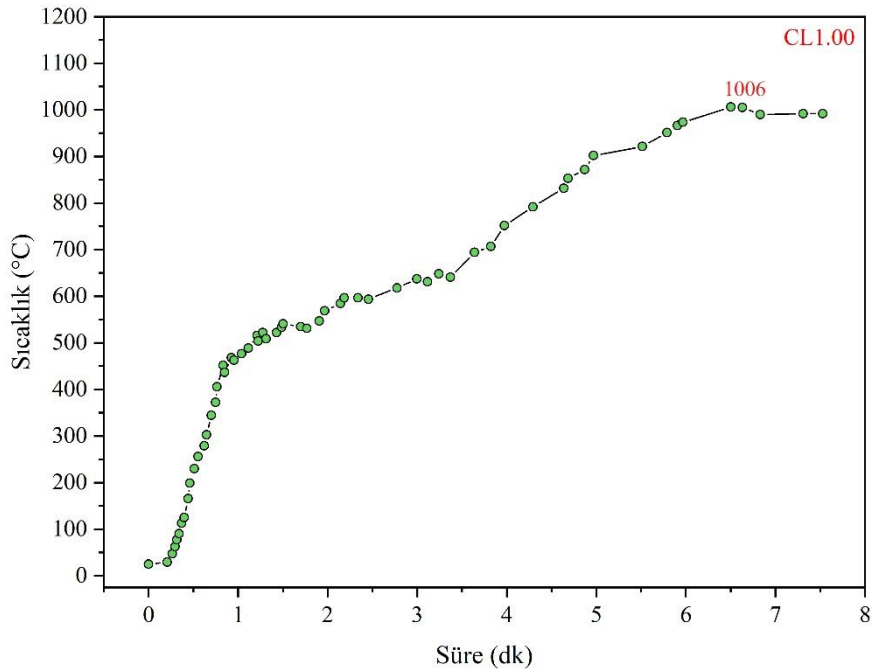
Şekil 8. CL0,50 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki

Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde, %0,25 ve %0,50 oranında atık kağıt ile cam lifinin yer değiştirmesi harçların yüzey sıcaklığı ile süre grafiğindeki sıcaklık dalgalanmalarını azaltmış olarak gözlemlenmiştir. Atık kartonun harç tasarımlarında azalması ve yerine cam

lifi eklenmesi harç içerisinde daha az yanıcı malzeme olmasına ve böylece yüzey sıcaklığındaki artışın daha dengeli bir ivme ile ilerlemesine neden olduğu tespit edilmiştir. %0,25 cam lifi kullanılan örneklerin (Şekil 7) sıcaklık-süre grafiği her ne kadar referans harcının sıcaklık-süre grafine (Şekil 6) benzer çıksa da özellikle %0,25 cam lifi kullanıldığında yüzey sıcaklığındaki artma eğilimi 6 dakikaya kadar gelebilmektedir. Referans harcının yüzey sıcaklığı ise 5 dakika artmış, en büyük değere ulaşmış ve ardından düşmüştür. %0,25 lif kullanılan harcın yüzey sıcaklığı ise 6 dakika boyunca artmış, en büyük değere ulaşmış ve ardından düşmeye başlamıştır. Bu da cam liflerinin eklenmesi ile harcın daha uzun süre ve daha yüksek sıcaklıklarda durabilitesinin arttığını göstermektedir. %0,50 cam lifi kullanımında ise (Şekil 8) referans harcına kıyasla hala sıcaklık dalgalanmaları olsa da grafiğin daha düzgün olduğu gözlemlenmiştir. İlk 1 dakikalık sürede referans harcında olduğu gibi yüzey sıcaklığı ortalama 500 °C dolaylarını ulaşmış, bu andan itibaren 3. dakikanın sonuna kadar ortalama 600 °C civarında seyretmiş ve 3. dakikanın sonundan itibaren en büyük dereceye ulaşana kadar lineer bir şekilde artış göstermiştir. Yüzey sıcaklığı ortalama 7. dakikada en büyük değere ulaşmıştır (1012 °C) ve bu süreden sonra yüzey sıcaklığı azalma eğilimine girmiştir.

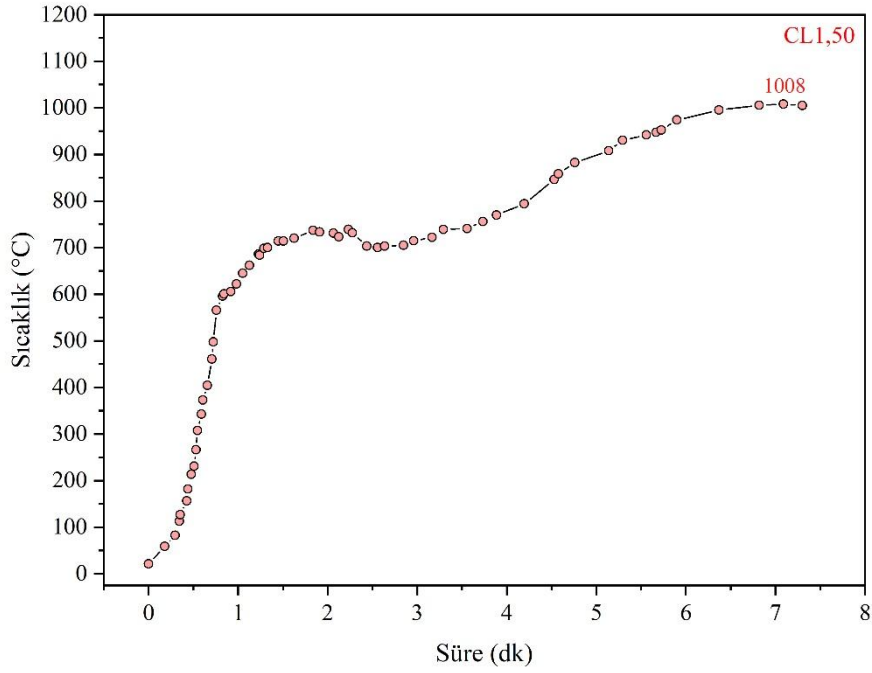


Şekil 9. CL0,75 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki

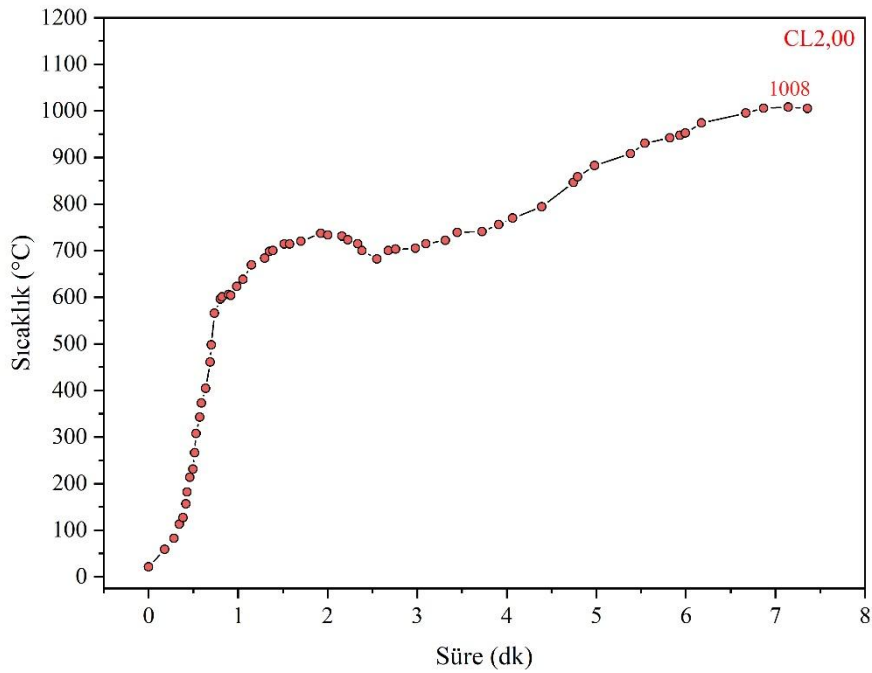


Şekil 10. CL1,00 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki

Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde, cam lif kullanımının artması ile birlikte yüzey sıcaklığı-süre grafiğinin sabit bir form almaya başladığı gözlemlenmektedir. Azalan karton atık miktarı ile birlikte yüzey sıcaklığındaki dalgalanma oldukça azalmış ve artan cam lif oranı ile birlikte de yüzey sıcaklığı daha homojen bir dağılım göstermeye başlamıştır. Her ne kadar bu durum %0,75 cam lifi kullanım oranında bariz bir şekilde gözükme de %1,00 oranında cam lifi kullanımı ile birlikte sıcaklık-süre grafiği düzgün bir şekilde seyretmeye başlamıştır. %1,00 cam lifi kullanılan harçların yüzey sıcaklığı yine ilk 1 dakika hızlı artarak 500 °C'ye kadar ulaşmış, bu süreden sonra sıcaklık dalgalanması en aza indirgenerek sıcaklık artışı lineer seyretmeye başlamıştır. Yaklaşık 6,5 dakika sıcaklık artmış ve 1006 °C ile en büyük değere ulaşmıştır. Bu süreden sonra yüzey sıcaklığında azalma başlamıştır.



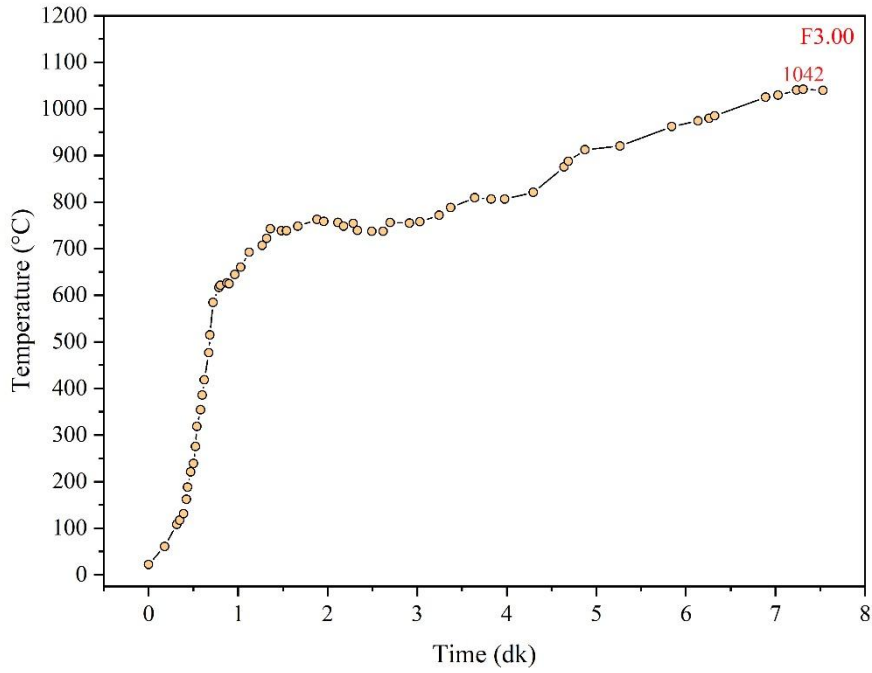
Şekil 11. CL1,50 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki



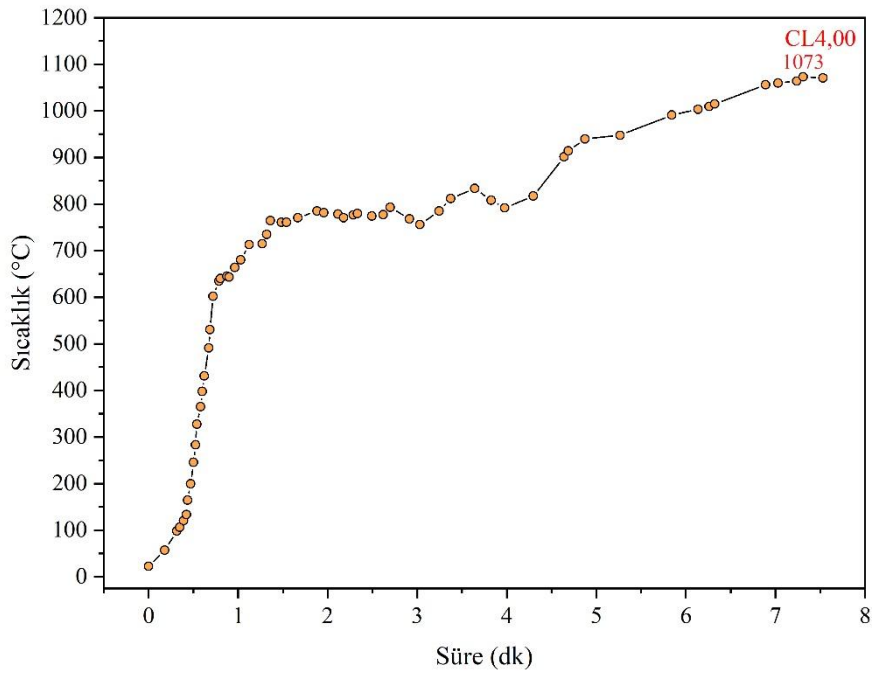
Şekil 12. CL2,00 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki

Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiğinde, referans harcından ve nispeten daha az cam lifi kullanılan harçlardan %1,50 ve %2,00 oranında cam lifi kullanılan harcı ayıran en bariz özelliklerden birinin ilk 1 dakikalık süre içerisinde artık harcın 500 °C değil 600 °C civarında yüzey sıcaklığını taşıyabilmesidir. Bu süreden itibaren yüzey sıcaklığı en yüksek değere

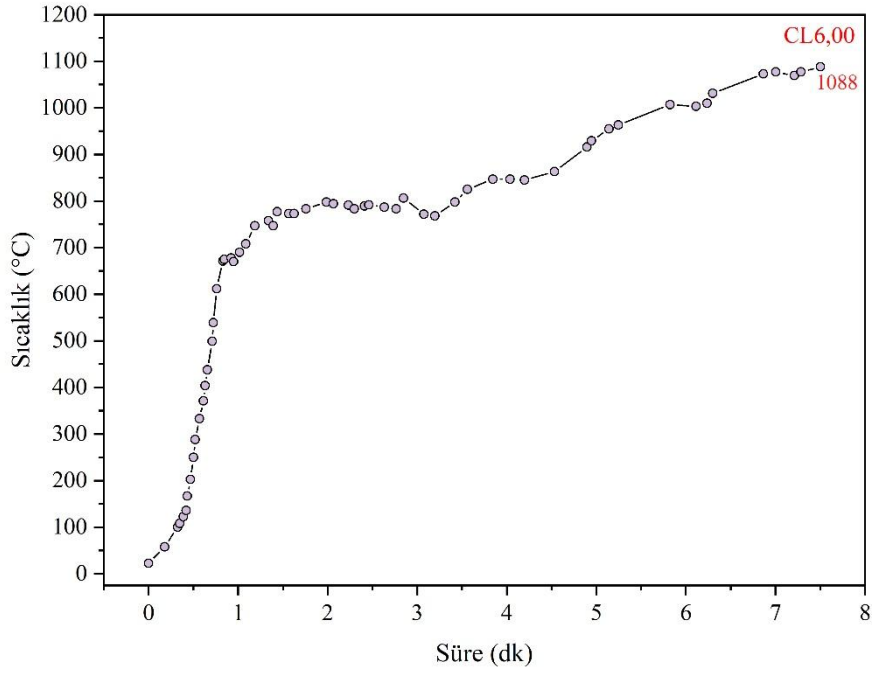
ulaşana kadar lineere yakın bir artış seyri izlemektedir. CL1,00 ve CL2,00 kodlu örnekleri referans ve nispeten düşük cam lifi kullanılan örneklerden ayıran bir diğer özellik ise en büyük sıcaklık değerinden sonra artık yüzey sıcaklığının düşmüyor olması olarak tespit edilmiştir.



Şekil 13. CL3,00 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki

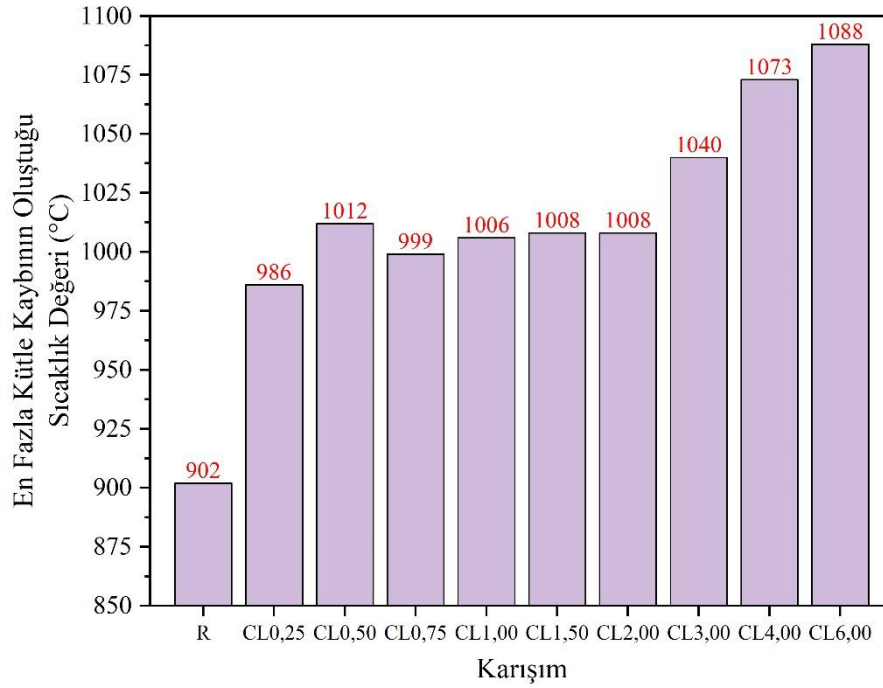


Şekil 14. CL4,00 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki



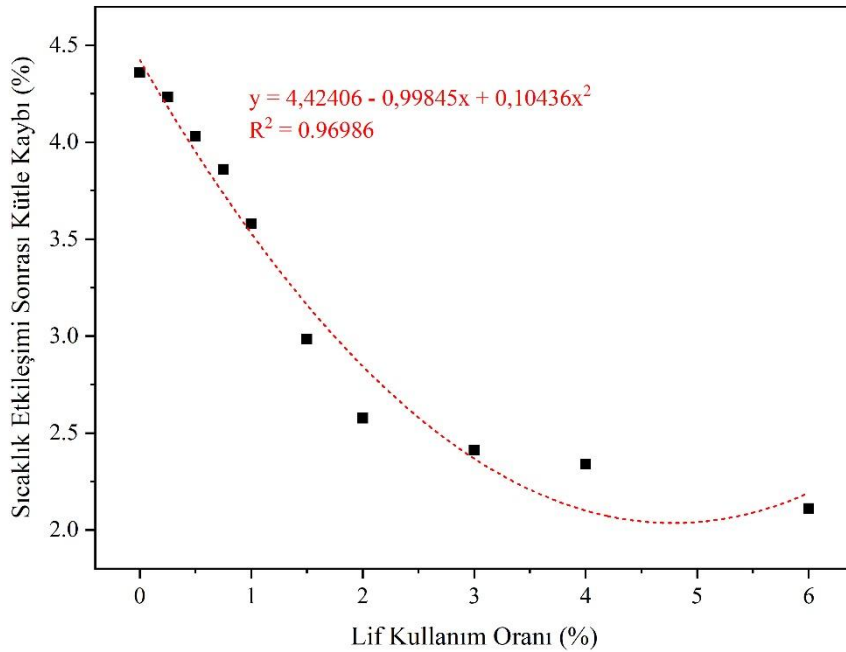
Şekil 15. CL06,00 örneğinin yüzey sıcaklığı ile süre arasındaki ilişki

Şekil 13-Şekil 15 arasındaki şekiller incelendiğinde, ilk 1 dakika için 600 °C ve daha üstündeki sıcaklıkları örneklerin taşıyabildikleri gözlemlenmiştir. Cam liflerinin doğrudan aleve karşı olan dayanıklılığı ve kullanıldığı harcı da bu konuda iyileştirebildiği açıkça görülebilmektedir. %3,00, %4,00 ve %6,00 cam lifi kullanılan harçların en büyük yüzey sıcaklıkları her üçü içinde testin sonunda ve sırasıyla 1042 °C, 1073 °C ve 1088 °C olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada, referans harcının ve nispeten düşük cam lifi kullanılan harçların 8. dakikadan sonra majör bozulmalara uğradıkları için deney süresi ortalama 7,5 dakika olarak sabitlenmiştir. Ancak, CL3,00, CL4,00 ve CL6,00 örneklerinin bu süre sonunda hala yüzeyinde sıcaklık taşıyabilecekleri gözlemlenmiştir. Bu sebeple ileriki çalışmalar için, benzer harç ürünlerinde alev kaynağının daha uzun sürelerde numune yüzeyine sıcaklık vermesi sağlanabilir. Bu koşullarda, numunelerin yüzey sıcaklıkları en büyük değere ulaştığında en fazla kütle kaybının meydana geldiği gözlemlenmiştir. Harçlarda en fazla kütle kaybının meydana geldiği (T_{maks}) sıcaklıkların grafiksel gösterimi Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. En fazla kütle kaybının meydana geldiği (T_{maks}) sıcaklar

Şekil 17 doğrudan aleve maruz bırakılan harç örneklerinin ağırlık kaybının karşılaştırmasını göstermektedir.



Şekil 17. Harçların doğrudan alev testinden sonraki kütle kayıpları

Şekil 17 incelendiğinde, kartonla ikame bir şekilde cam lifi kullanımının yüksek sıcaklığa maruz kalan harçlar üzerinde olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmektedir. Cam lifi kullanılmayan referans örneğinin çıkabildiği en büyük yüzey sıcaklık değeri 902 °C iken, bu örneğin bu sıcaklıkta kütle kaybı %4,36 olarak tespit edilmiştir. Şekil 16'dan da görülebileceği gibi, harçlarda cam lif oranı arttıkça harcın ulaşabildiği en büyük yüzey sıcaklık değerleri 902 °C'den 1088 °C'ye kadar artmaktadır. Benzer şekilde, numune içerisinde bulunan cam lifi oranı da arttıkça harcın bu en büyük sıcaklık değerlerindeki ağırlık kayıpları azalmaktadır. CL6,00 örneğinin yüzeyde oluşabilen en büyük sıcaklık değeri 1088 °C ile referans örneğinden 186 °C daha fazladır. Buna rağmen, CL6,00 örneği sadece %2,11 ağırlık kaybına uğramıştır. Bu da cam liflerinin doğrudan aleve karşı harçları ne kadar dayanıklı bir forma kavuşturabildiğini gösterebilmektedir. Moghadam ve Izadifad [30] lifsiz betonun 800 °C sıcaklıktaki fırın içerisinde %10,78 ağırlık kaybederken hacmen %0,25 cam lif katkılı betonun aynı sıcaklık altında %10,50 ağırlık kaybettiğini tespit etmişlerdir. Böylece, yüksek sıcaklıklarda cam lifinin harcın doğrudan aleve karşı dayanıklılığına etkisinin daha iyi olduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, cam lifle güçlendirilmiş çimentolu hafif kompozit harçlar üretilmiştir. Bu harçların fiziksel ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Ayrıca, harçların doğrudan aleve maruz kaldığında sergilediği özelliklerini tespit etmek amacıyla, harçlara doğrudan alev uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre:

1. Bu çalışmada, cam lif kullanımı ile birim ağırlıklar bir miktar artsa da 700-800 kg/m³ sertleşmiş birim ağırlıkta harçlar üretildiğinden bu harçlar ultra hafif harç olarak tanımlanabilir.
2. Artan miktarda cam lif kullanımı ile harçların su emme ve görünür gözeneklilikleri azalmıştır. Referans harçta görünür gözeneklilik %68,9 iken, harçtaki cam lif oranı arttıkça görünür gözeneklilik %54,8'e kadar (CL6,00 karışımı) azalmıştır. Referans karışımının su emme oranı %65,4 iken, cam lifi içeren harçların en düşük su emme oranı %48,8 olarak CL6,00 karışımında belirlenmiştir.

3. %1,50 lif kullanım oranına kadar harçların birim ağırlıklarının azaldığı, aynı şekilde basınç dayanımlarının da azaldığı, bu lif oranının üzerinde lif kullanıldığında birim ağırlığın arttığı ve basınç dayanımının da tekrar arttığı gözlemlenmiştir. Sertleşmiş çimento harcı numunelerinin basınç dayanımları 8,637-9,05 MPa aralığında değişmektedir.
4. R kodlu referans harcı örneğinin 28 günlük eğilme dayanımının ortalama 1,35 MPa olarak tespit edildiği görülmektedir. Test örneklerinde en yüksek eğilme dayanımı değeri ise %6 cam lifi kullanılan CL6,00 kodlu karışımlarda ortalama 3,88 MPa olarak tespit edilmiştir.
5. Doğrudan alev testi sonuçlarına göre, cam lifi kullanımı süreye yüzey sıcaklığındaki dalgalanmayı azaltarak daha homojen bir grafik sergilemektedir.
6. Cam lifi kullanımının artması ile birlikte numunelerin yüzeyinin ulaşabildiği en yüksek sıcaklık değeri artmaktadır. Bu da cam lifi kullanımı ile birlikte daha yüksek sıcaklıklardaki yangınlara malzemelerin daha dayanıklı olabileceğini gösterebilmektedir.
7. Referans harcının yüzeyinin ulaşabildiği en büyük sıcaklık değeri 902 °C iken, cam lifi oranının artması ile birlikte bu değer 986 °C (CL0,25)'den 1088 °C (CL6,00)'ye kadar ulaşabilmektedir.
8. Cam lifi arttıkça örneklerin yüzey sıcaklığında önemli artış olsa da numuneler doğrudan aleve maruz kaldığında daha düşük ağırlık kaybı sergilemişlerdir. Referans örneğinin yüzey sıcaklığı 902 °C iken ağırlık kaybı %4,36'dır. En düşük cam lifli örneğin yüzey sıcaklığı 986 °C iken, ağırlık kaybı %4,23'e, en çok cam lifi kullanılan örneğin yüzey sıcaklığı 1088 °C'ye çıktığında ağırlık kaybı %2,11'dir.

Cam lifi kullanım yüzdesi arttıkça sertleşmiş harç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri gelişmiştir. Bununla birlikte, doğrudan aleve maruz kaldığında, cam lifi kullanım oranı en yüksek olan örneklerin en iyi performansı gösterdiği gözlemlenmiştir. Yangına karşı dirençli malzemelerin üretiminde cam liflerinin çimentolu hafif kompozit harçlarda değerlendirilebileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Johnston CD. Fiber-Reinforced Cements and Concretes. Crc Press 2014.
- [2] Kalkan ŞO, Yavaş A, Güler S, Kayalar MT, Sütçü M, Gündüz L. An experimental approach to a cementitious lightweight composite mortar using synthetic wollastonite. Construction and Building Materials 2022; 341: 127911.
- [3] KALKAN ŞO, GÜNDÜZ L. Structural strength properties of waste textile fiber reinforced cementitious lightweight composite mortars. Sakarya University Journal of Science 2022; 26(6): 1180–1195.
- [4] Uğurer O, Kalkan ŞO, Gündüz L. Poli vinil alkol (pva) lif boyutunun çimento esaslı hafif harcın özelliklerine etkisi üzerine bir inceleme. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 25(2): 543–563.
- [5] Kalkan ŞO, Öcal Hİ, Gündüz L. Effect of denim waste fibres on technical properties of cementitious lightweight composite mortars. Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology 2023; 5(2): 71–90.
- [6] Anandaraj S, Rooby J, Awoyera PO, Gobinath R. Structural distress in glass fibre-reinforced concrete under loading and exposure to aggressive environments. Construction and Building Materials 2019; 197: 862–870.
- [7] Wang W-C, Wang H-Y, Chang K-H, Wang S-Y. Effect of high temperature on the strength and thermal conductivity of glass fiber concrete. Construction and Building Materials 2020; 245: 118387.
- [8] Çankal D, Kalkan ŞO, Öztürk AU, Gündüz L. An investigation of the usage of glass wastes in cement mortars using full factorial design. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2023; 25(74): 405–416.
- [9] Kasagani H, Rao CBK. Effect of graded fibers on stress strain behaviour of glass fiber reinforced concrete in tension. Construction and Building Materials 2018; 183: 592–604.
- [10] Qureshi LA, Muhammad U. Effects of incorporating steel and glass fibers on shear behavior of concrete column-beam joints. KSCE Journal of Civil Engineering 2018; 22: 2970–2981.

- [11] Yildizel SA, Timur O, Ozturk AU. Abrasion resistance and mechanical properties of waste-glass-fiber-reinforced roller-compacted concrete. *Mechanics of Composite Materials* 2018; 54: 251–256.
- [12] Khan M, Ali M. Use of glass and nylon fibers in concrete for controlling early age micro cracking in bridge decks. *Construction and Building Materials* 2016; 125: 800–808.
- [13] Fang Y, Chen B, Oderji SY. Experimental research on magnesium phosphate cement mortar reinforced by glass fiber. *Construction and Building Materials* 2018; 188: 729–736.
- [14] Moosaei HR, Zareei AR, Salemi N. Elevated temperature performance of concrete reinforced with steel, glass, and polypropylene fibers and fire-proofed with coating. *International Journal of Engineering* 2022; 35(5): 917–930.
- [15] Choi Y, Yuan RL. Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of gfrc and pfrc. *Cement and Concrete Research* 2005; 35(8): 1587–1591.
- [16] Al Qadi ANS, Al-Zaidyeen SM. Effect of fibre content and specimen shape on residual strength of polypropylene fibre self-compacting concrete exposed to elevated temperatures. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 2014; 26(1): 33–39.
- [17] Novák J, Kohoutková A. Fibre Reinforced Concrete Exposed to Elevated Temperature. In: *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 246. IOP Publishing 2017; 12045.
- [18] Serrano R, Cobo A, Prieto MI, de las Nieves González M. Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers. *Construction and Building Materials* 2016; 122: 302–309.
- [19] Lee J, Terada K, Yamazaki M, Harada K. Impact of melting and burnout of polypropylene fibre on air permeability and mechanical properties of high-strength concrete. *Fire Safety Journal* 2017; 91: 553–560.
- [20] Yermak N, Pliya P, Beaucour A-L, Simon A, Noumowé A. Influence of steel and/or polypropylene fibres on the behaviour of concrete at high temperature: spalling, transfer and mechanical properties. *Construction and Building Materials* 2017; 132:

240–250.

- [21] Jameran A, Ibrahim IS, Yazan SHS, Rahim SNAA. Mechanical properties of steel-polypropylene fibre reinforced concrete under elevated temperature. *Procedia Engineering* 2015; 125: 818–824.
- [22] Abdul Rashid MK, Ramli Sulong NH, Alengaram UJ. Fire resistance performance of composite coating with geopolymers-based bio-fillers for lightweight panel application. *Journal of Applied Polymer Science* 2020; 137(47): 49558.
- [23] Mo KH, Hussin MN, Ling T-C, Sulong NHR, Lee FW, Yuen CW. Development of lightweight aggregate mortar skin layer for an innovative sandwich concrete composite. *Journal of Building Engineering* 2020; 27: 100941.
- [24] de Sá Teles e Lima G, Torres SM, Gomes KC, de Barros SR, Leal AF, Lima Filho MRF. Behavior of sisal fiber mat reinforced alkaline activated metakaolin matrix under direct flame. *Key Engineering Materials* 2014; 600: 433–441.
- [25] Vásquez-Molina D, Mejía-Arcila JM, Gutiérrez RM. Mechanical and thermal performance of a geopolymeric and hybrid material based on fly ash. *Dyna* 2016; 83(195): 216–223.
- [26] Salahuddin MBM, Mazlan N, Mustapha F, Ishak MR, Saprudin AA. Factorial design approach to investigate the significance of factors on the fire resistant, compression and adhesion properties of geopolymer binder. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 2020; 14(3): 7191–7204.
- [27] Basri MSM, Mazlan N, Mustapha F, Ishak MR. Correlation between Compressive Strength and Fire Resistant Performance of Rice Husk Ash-Based Geopolymer Binder for Panel Applications. In: *MATEC Web Conf.*, vol. 97. EDP Sciences 2017; 1025.
- [28] Mohd Basri MS, Mustapha F, Mazlan N, Ishak MR. Rice husk ash-based geopolymer binder: compressive strength, optimize composition, ftir spectroscopy, microstructural, and potential as fire-retardant material. *Polymers* 2021; 13(24): 4373.
- [29] Kalkan M, Erenson C. Direct flame test performance of boards containing waste undersized pumice materials. *Journal of Engineering Research* 2023.
- [30] Moghadam MA, Izadifard RA. Effects of steel and glass fibers on mechanical and

- durability properties of concrete exposed to high temperatures. *Fire Safety Journal* 2020; 113: 102978.
- [31] Ravikumar CS, Thandavamoorthy TS. Glass fibre concrete: investigation on strength and fire resistant properties. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 2013; 9(3): 2320–2334.
- [32] Keykha AH. Experimental investigation of the strength of glass fiber-reinforced concrete exposed to high temperature. *Mechanics of Advanced Composite Structures* 2018; 5(2): 103–113.
- [33] Wu C-H, Chi J-H, Wang W-C, Chien C-C. Effect of glass fiber and high temperature on the mechanical properties of recycled aggregate concrete. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2023; 148(11): 4655–4668.
- [34] Haigh R, Bouras Y, Sandanayake M, Vrcelj Z. The mechanical performance of recycled cardboard kraft fibres within cement and concrete composites. *Construction and Building Materials* 2022; 317: 125920.
- [35] Ahmad A, Rahman M, Khalil A, Adil M, Khan M. Efficient Use of Waste Cardboard in Construction Material. In: 4th Conf. Sustain. Process Ind. 2018; 23–27.
- [36] Gündüz L, Kalkan ŞO. Yarı pul mika ve mikronize magnezyanın ısı dirençli hafif harcın dayanım performansına olan etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 2023; 13(2): 288–309.
- [37] Ahmad A, Adil M, Khalil A, Rahman M. Mechanical properties and durability of boardcrete blocks prepared from recycled cardboard. *Journal of Building Engineering* 2021; 33: 101644.
- [38] Turkish Standards Institution. TS EN 1015-6, Methods of Test for Mortar for Masonry - Part 7: Determination of Air Content of Fresh Mortar. Ankara: 2000.
- [39] Turkish Standards Institution. TS EN 1015-10, Methods of Test for Mortar for Masonry- Part 10: Determination of Dry Bulk Density of Hardened Mortar. Ankara: 2001.
- [40] ASTM C642-13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. West Conshohocken, PA: 2013.

- [41] TS EN 1015-11 Kagir Harcı - Deney Yöntemleri - Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımının Tayini. n.d.
- [42] TS EN 998-1, Specification for Mortar for Masonry — Part 1: Rendering and Plastering Mortar. 2017.
- [43] Adhikary SK, Rudžionis Ž, Vaičiukynienė D. Development of flowable ultra-lightweight concrete using expanded glass aggregate, silica aerogel, and prefabricated plastic bubbles. *Journal of Building Engineering* 2020; 31: 101399.
- [44] Ślosarczyk A, Vashchuk A, Klapiszewski Ł. Research development in silica aerogel incorporated cementitious composites—a review. *Polymers* 2022; 14(7): 1456.
- [45] Ng S, Jelle BP, Sandberg LIC, Gao T, Wallevik ÓH. Experimental investigations of aerogel-incorporated ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials* 2015; 77: 307–316.
- [46] Khorami M, Ganjian E, Mortazavi A, Saidani M, Olubanwo A, Gand A. Utilisation of waste cardboard and nano silica fume in the production of fibre cement board reinforced by glass fibres. *Construction and Building Materials* 2017; 152: 746–755.
- [47] Banthia N, Sheng J. Fracture toughness of micro-fiber reinforced cement composites. *Cement and Concrete Composites* 1996; 18(4): 251–269.

DİMETİL ETERİN BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA CO EMİSYONUNA ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

İsmet SEZER^{1,a,*}

¹Gümüşhane Üniversitesi MDBF Makine Mühendisliği Bölümü
^aisezer@gumushane.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7342-9172

ÖZET

Alkoller ve eterler gibi oksijen içerikli yakıtlar yanmayı iyileştirmek ve emisyonları azaltmak için içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt veya yakıt katkısı olarak kullanılabilirler. Bu alkol ve eter yakıtlar genellikle kömür, doğalgaz, biyokütle ve atık ürünler gibi bir kısmı yenilenebilir ve yerel olan çeşitli kaynaklardan üretilebilirler. Oksijen içerikli yakıtların çoğu daha temiz bir yanma sağlamalarının yanı sıra konvansiyonel petrol kökenli yakıtlara benzer tutuşma ve yanma karakteristiklerine sahiptirler. Etanol ve metil tersiyer bütül eter (MTBE) benzinin oktan sayısını ve oksijen içeriğini artırmak için düşük oranlarda kullanılan başlıca katkılardandır. Alkol ve eter yakıtların benzine katılması bu yakıtların yüksek oksijen içeriği sayesinde yanmanın iyileştirilmesini sağlamakta ve bu sayede yanma verimi artarken emisyonlarda azalmaktadır. Ancak, bu yakıtların enerji içeriği benzine göre düşük olduğundan katkı olarak kullanıldığında motorun yakıt tüketimini artırmaktadır. Dimetil eter (DME) buji ateşlemeli motorlarda yakıt katkısı olarak uzun bir geçmişe sahip değildir. Ancak, buji ateşlemeli motorlarda DME'yi benzinle birlikte kullanmak yanmayı iyileştirip motorun verimini artırmak için olası çözümlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, DME'nin buji ateşlemeli motorlarda benzinle birlikte kullanıldığında yakıt tüketimini ve emisyonları azaltabileceği düşünülmektedir. Öte yandan, ulaşımdan kaynaklanan karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarının ana kaynağı benzin motorlu taşıtlardır. Buji ateşlemeli motorlarda DME kullanımının yüksek oksijen içeriği sayesinde standart benzinli motorlara kıyasla daha düşük CO ve HC emisyonları üretebileceği belirtilmektedir. Bu nedenle, DME'nin buji ateşlemeli motorlarda kullanımına yönelik yapılmış çalışmaların sonuçlarının bir arada değerlendirilmesi yeni çalışmalar ve pratik uygulamalar için önem arz etmektedir. Bu çalışma, DME'nin buji ile

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

Geliş (Received): 14/05/2025

Atıf (Citation): Sezer, İ., "Dimetil Eterin Buji Ateşlemeli Motorlarda CO Emisyonuna Etkileri Üzerine Bir Araştırma", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 7(1): 31-60, 2025.

Kabul (Accepted): 09/07/2025

Yayın (Published): 18/07/2025

ateşlemeli motorlarda yakıt veya yakıt katkısı olarak kullanılması üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarından derlenmiştir. Bu derleme çalışması buji ateşlemeli motorlarda DME kullanımının özellikle CO emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Buji ateşlemeli motorlar, yakıt katkısı, dimetil eter, CO emisyonu.

ABSTRACT

The oxygenated fuels such as alcohols and ethers can be used in internal combustion engine (ICE) as fuel and fuel additive for improving the combustion and reducing the exhaust emissions. These alcohol and ether fuels can usually be produced from a variety of sources, some of which are renewable and local, such as coal, natural gas, biomass and waste products. Most of the oxygenated fuels have similar ignition and combustion characteristics to conventional petroleum based fuels besides they give cleaner combustion. Ethanol and methyl tert-butyl ether (MTBE) are mainly used as additives at low blending ratio to enhance the octane number and oxygen content of gasoline. The addition of alcohol and ether fuels to gasoline lead to a more complete combustion due to the higher oxygen content, thereby leads to increased combustion efficiency and decreased engine out emissions. On the other hand, the energy content of alcohol and ether fuels is lower than gasoline; thereby fuel consumption of the engine will increase when using these alcohol and ether as a fuel additive. Dimethyl ether (DME) does not have a long history as a fuel or an additive to gasoline in spark ignition (SI) engines, but using of DME with gasoline in SI engines is considered as one of the possible solutions to improve combustion and increase the thermal efficiency of the engine. Moreover, it is considered that DME can enhance the economical and emissions performances of engine when it is used with gasoline in SI engines. On the other hand, the main sources of carbon monoxide (CO) and hydrocarbon (HC) emissions from transport are gasoline engine vehicles. It is stated that using of DME in SI engines can generate the lower CO and HC emissions compared to the standard gasoline engines due to the high oxygen content of DME. Therefore, it is important to evaluate together the results of the studies on the use of DME in SI engines for the future studies and practical applications. This study was compiled the results of the papers which completed on using of DME as a fuel or fuel additive in SI engines. The review study aims to investigate the effects of using DME in SI engines especially on carbon monoxide (CO) emission.

Keywords: Spark ignition engines, fuel additive, dimethyl ether, CO emission.

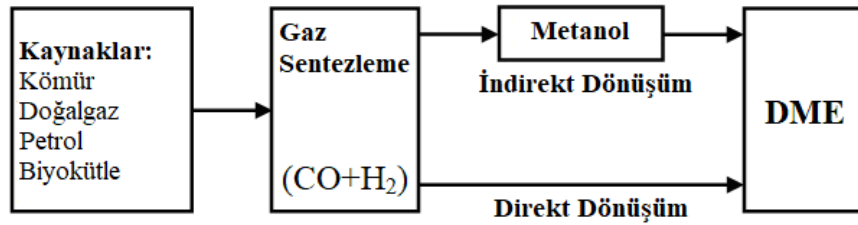
1. GİRİŞ

Ekolojik sorunlar ve petrolün yakın bir gelecekte tükenme riski araştırmacıları daha gelişmiş yakma teknolojileri ve emisyonları azaltmaya yönelik sistemlerin geliştirilmesi ile birlikte fosil kökenli olmayan alternatif yakıtlar aramaya yöneltmiştir. Temiz alternatif yakıtların kullanımı bahsedilen sorunların çözümüne yönelik umut verici yöntemlerden birisi olarak görülmektedir [1, 2]. Dimetil eter (DME) temiz ve verimli yanma sağlayarak zararlı emisyonları azaltabilecek alternatif yakıtlardan birisi olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, DME bir kısmı yenilenebilir olan ham petrol, doğalgaz, kömür, biyokütle, atık yağlar ve atık ürünler gibi çeşitli kaynaklardan yerel olarak da üretilebilmektedir [3, 4]. Biyokütle kaynaklardan üretilen DME'nin kullanımıyla ilgili bir diğer önemli husus yakıt üretim zincirindeki karbondioksit (CO_2) emisyonunun azaltılmasıdır. Biyokütleden DME üretim döngüsünün CO_2 emisyonunu yaklaşık %92 oranında azaltılabileceği ifade edilmektedir [5]. Öte yandan, ulaşımdan kaynaklanan karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarının ana kaynağının benzinli motorlu taşıtlar olduğu düşünülmektedir. Yüksek oksijen içeriğine sahip olduğundan buji ateşlemeli motorlarda benzin veya diğer yakıtlarla birlikte DME kullanımının yanmayı iyileştirerek standart benzinli motorlara kıyasla daha düşük CO ve HC emisyonları sağlayabileceği ileri sürülmektedir [6]. Aslında, DME yanma hızının yüksek olmasına rağmen yüksek setan sayısı nedeniyle vuruntu dayanımı düşük olduğundan buji ateşlemeli motorlarda kullanılmaya elverişli bir yakıt değildir [7]. Bununla birlikte, DME kolay tutuşabilmesi ve hızlı yanabilmesi nedeniyle fakir karışımla çalışma koşullarında yanma verimini ve motor performansını artırmak için buji ateşlemeli motorlarda tutuşmayı ve yanmayı iyileştirici olarak kullanılabilir [8]. Yapılan deneysel çalışmalar direkt püskürtmeli benzinli motorlarda fakir karışımla çalışma koşullarında emme kanalına DME püskürtülmesinin termik verimi artırıp çevrim farklılıklarını azaltarak motorun daha kararlı çalışmasını sağladığını göstermiştir [9, 10]. Bu nedenle, son yıllarda yenilenebilir alternatif yakıtların kullanımını teşvik etmek için çift yakıtlı motorlar geliştirilmektedir. Çift yakıtlı püskürtme sistemleri daha verimli bir yanma sisteminin geliştirilmesini amaçlayan sürdürülebilirlik ve çevrenin korunmasıyla ilgili sorunlara acil çözüm bulmaya yönelik yeni bir teknolojidir. Direkt püskürtmeli benzinli motorlarla karşılaştırıldığında çift yakıtlı püskürtme sistemlerinin termik verimi artırdığı, HC ve azot oksit (NO_x) emisyonlarını azalttığı ancak CO emisyonunu belli oranda artırdığı tespit edilmiştir [11, 12]. Bu nedenle, DME'nin buji ateşlemeli motorlarda yakıt veya yakıt katkısı olarak kullanımına yönelik

yapılan çalışmaların sonuçlarının bir arada değerlendirilmesi yeni çalışmalar ve pratik uygulamalar için oldukça önemlidir. Bu derleme çalışması buji ateşlemeli motorlarda DME kullanımının özellikle CO emisyonu üzerindeki etkilerini literatüre dayalı olarak araştırmayı amaçlamaktadır.

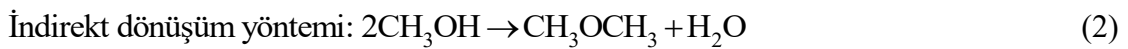
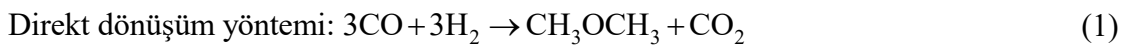
2. DİMETİL ETERİN ÜRETİMİ

Geleneksel olarak, DME doğalgaz, kömür, biyokütle, plastik atık ve benzeri çeşitli ham maddelerin Şekil 1’de görüldüğü gibi direkt veya indirekt metotlarla iki farklı şekilde dönüştürülmesi sonucu üretilir [13].



Şekil 1. DME'nin üretim yöntemleri [14]

Aşağıdaki reaksiyon denklemlerinde görüldüğü gibi direkt dönüşüm yönteminde DME doğrudan sentez gazından iki işlevli bir katalizör kullanılarak üretilirken indirekt üretim yönteminde ise metanolden çeşitli reaksiyonlarla suyun uzaklaştırılması (dehidrasyon veya kondenzasyon) ile üretilmektedir [15].

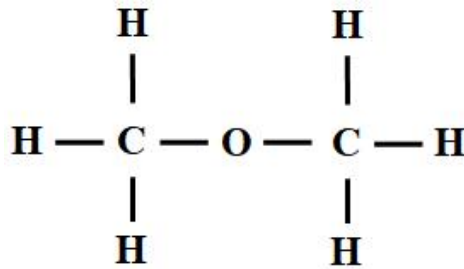


Her iki yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Tek aşamalı yöntem olarak da bilinen direkt dönüşüm yönteminde DME tek bir reaktörde doğrudan CO ve H₂ (hidrojen) karışımı olan sentez gazından tek aşamada üretilmektedir. Tek aşamalı üretim yöntemi ekzotermiktir ve bu nedenle işlemin sıcaklığı kaçakları önlemek için uygun şekilde kontrol edilmelidir [16]. İndirekt üretim yönteminde ise önce sentez gazından metanol üretilir daha sonra metanolün saflaştırılması ve dehidrasyonu sonucunda iki aşamada DME üretilir. Metanolün dehidrasyonu termodinamik ve ekonomik açısından daha uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [17]. Enerji eşdeğeri bazında düşünüldüğünde DME üretimi, benzin veya dizel yakıtından daha düşük maliyetlidir. Büyük ölçekli tesisler çapında üretim dikkate

alındığında ise DME'nin üretim maliyeti sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) veya sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) üretim maliyetlerine benzerdir [18].

3. DİMETİL ETERİN ÖZELLİKLERİ

Şekil 2'de görüldüğü gibi DME, $\text{CH}_3\text{--O--CH}_3$ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) kimyasal formülüne sahip en basit eterlerden birisidir. Genel olarak, DME'nin fiziksel özellikleri sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile benzerdir. Bu nedenle DME'nin taşınması, depolanması ve yakıt istasyonlarında araçlara dolumu ile ilgili olarak LPG ile benzer şartların sağlanması gerekmektedir [19, 20]. Neredeyse zehirsiz olan DME atmosferik basınç ve oda sıcaklığı koşullarında gaz fazında olup sıvılaştırılabilmesi için 5 barın üzerindeki basınçlarda sıkıştırılması gerekmektedir. Taşıt üzerinde kullanımı sırasında yakıt deposundan motora sevk edilirken buhar tıkaçı oluşumunu önleyebilmek için yakıt dağıtım hattında basıncın 17 ila 20 bar değerlerine çıkarılması gerekmektedir [21, 22].



Şekil 2. DME'nin kimyasal yapısı [16]

Benzin, LPG ve DME yakıtlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi DME, LPG ile yakın değerlere sahip iken benzinden oldukça farklı değerlere sahiptir. DME oldukça yüksek buhar basıncı ve düşük kaynama noktası sıcaklığına sahip olması nedeniyle oda sıcaklığında ve atmosfer basıncı altında gaz fazındadır. Diğer taraftan, DME'nin ısı değeri (enerji içeriği) LPG ve benzine göre oldukça düşüktür. Bu nedenle, DME'nin kullanımı sırasında yakıt dağıtım ve püskürtme sistemleri ile yanma sisteminin uygun şekilde değiştirilmesi gerekmektedir [25]. DME'nin düşük oktan sayısı ve yüksek setan sayısı değerine sahip olması onun kolay tutuşabildiğini göstermektedir. Ayrıca, DME buharlaşma gizli ısının benzine göre oldukça yüksek olması nedeniyle emme kanalına püskürtüldüğünde dolgu sıcaklığının düşmesini sağlayarak motorun hacimsel veriminin artmasına katkı sağlayabilir. Bu özelliği sayesinde DME soğutucu akışkan (RE170) olarak da kullanılabilir. DME'nin içeriğinde %34,8 oranında oksijen bulunmakta, kimyasal

yapısında sadece C–H ve C–O kimyasal bağları olup direkt C–C bağı bulunmamaktadır. Bu kimyasal özelliği sayesinde DME’nin yanması sonucunda sifıra yakın partikül madde (PM) emisyonu ve daha düşük motor gürültüsü oluşur ve yüksek oranlarda egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) uygulanarak NO_x emisyonu önemli ölçüde azaltılabilir [18]. DME’nin düşük viskozitesi nedeniyle özellikle yüksek basınçlar altında yakıt besleme sisteminde sızıntılara neden olmaması için düşük toleranslı parçaların kullanılması gerekebilir. DME’nin zayıf yağlama özelliğine sahip olması nedeniyle yakıt püskürtme sistemindeki hareketli parçalarda aşınma oluşumunu önlemek için içerisine yağlayıcı ve sızıntıyı önleyici uygun katkıların katılması önerilmektedir. DME’nin sıkıştırılabilirliği sıvı yakıtlara kıyasla yüksek olduğundan yakıt besleme hattında nakledilebilmesi için daha fazla pompalama işi gerekmektedir. DME korozif yapısı nedeniyle kauçuk veya lastik esaslı malzemelerin kimyasal yapısını bozucu bir etkiye sahip olduğundan yakıt sistemindeki bu tür malzemelerin korozif etkilere dayanıklı malzemelerle değiştirilmesi gerekmektedir. Ancak, DME’in metal esaslı malzemeler üzerinde korozif etkiye sahip olmaması bir avantaj olarak değerlendirilmektedir [26].

Tablo 1. Benzin, LPG ve DME yakıtlarının özellikleri [23, 24]

Özellik	Benzin	LPG	DME
Kimyasal formülü	C _x H _y	C ₃ H ₈ –C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₆ O
Molekül kütlesi, g/mol	46,07	44,1–58,2	46,07
Yoğunluğu (kg/L)	0,72–0,78	0,49–0,58	0,668
Viskozitesi (cP)	0,006	0,0074	0,15
Kaynama noktası (°C)	43–170	–27	–24,9
Donma noktası (°C)	–107,4	–189	–141,5
Parlama noktası (°C)	–42,78	–104	–41,1
Tutuşma sıcaklığı (°C)	300–450	470	350
Reid buhar basıncı (psi)	8–15	170	116
Kütleli oksijen içeriği (%)	–	–	34,8
Kükürt içeriği (ppm)	200	5–40	–
Yanma hızı (cm/s)	30–60	40	42,9–61
Tutuşabilir karışım oranları (%)	1,4–7,6	2,15–9,6	3,4–27
Stokiyometrik hava–yakı oranı	14,7	15,7	9
Buharlaştırma gizli ısı (kJ/kg)	290–420	358,2	461,6
Alt ısı değeri (MJ/kg)	44,1	46,3	28,43
Oktan sayısı	80–90	94–112	–
Setan sayısı	8,14	–	55–60

4. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA CO EMİSYONU OLUŞUMU

Ulaştırma ve ulaştırma dışı sektörlerde içten yanmalı motorların ürettiği emisyonlar hava kirliliğinde önemli bir paya sahiptir ve araştırmacılar ve hükümetler için önlem alınması

gereken bir konudur. İçten yanmalı motorlardan yayılan başlıca emisyonlar arasında karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM) ve karbondioksit (CO₂) yer almaktadır. Buji ateşlemeli motorlarla kıyaslandığında özellikle dizel motorlu ağır hizmet tipi taşıtlardan yayılan emisyonlar çevreye önemli zararlar vermektedir. Hem buji ateşlemeli (benzin) hem de dizel motorlu taşıtlardan yayılan emisyonlarla ilgili olarak sürekli emisyon kısıtlamaları yapılmakta olup bunlar Tablo 2’de görüldüğü gibi EURO emisyon düzenlemeleri ile standart hale getirilmiştir [27].

Tablo 2. Benzin ve dizel motorları için EURO emisyon standartları [27]

Emisyonlar [g/km]	EURO-I (1992)	EURO-II* (1996)	EURO-III (2000)	EURO-IV (2005)	EURO-V** (2011)	EURO-VI*** (2014)
BENZİN MOTORLARI						
CO	2,72	2,2	2,3	1	1	1
HC+NO _x	0,87	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
HC	–	–	0,15	0,08	0,06	0,06
NO _x	–	–	–	–	0,05	0,05
PM	–	–	–	–	–	–
DİZEL MOTORLARI						
CO	2,72	1	1	0,64	0,5	0,5
HC+NO _x	0,97	0,7	0,56	0,3	0,23	0,17
NO _x	–	–	0,5	0,25	0,18	0,08
PM	0,14	0,08	0,1	0,05	0,025	0,005

* Dizel oksidasyon katalizörü (DOK) zorunlu hale getirilmiştir.

** Dizel partikül filtresi (DPF) zorunlu hale getirilmiştir.

*** Benzin partikül filtresi (BPF) zorunlu hale getirilmiştir.

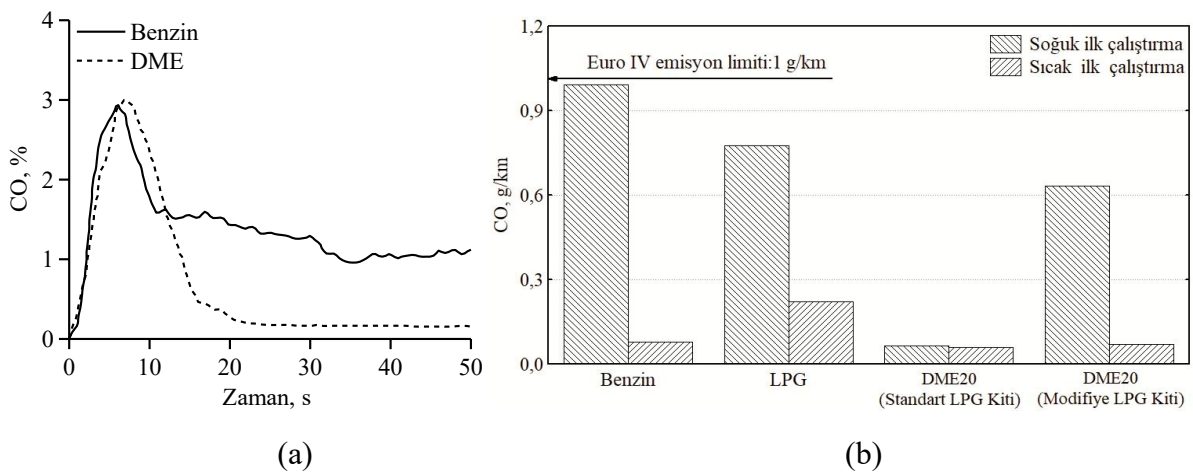
CO, hidrokarbon yakıtlarının oksidasyonu (yanması) sırasında oluşan bir ara üründür ve yanma sıcaklığı 1400 K’nin üzerinde olduğunda ve yeterli oksijen bulunduğunda CO₂’ye dönüştürülebilir. CO’da HC gibi eksik yanmadan kaynaklanır ve çok zengin veya çok zayıf karışım koşullarında meydana gelir. Buji ateşlemeli motorlarda CO oluşumu öncelikle yakıt–hava karışımının yapısına yani hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Fakir karışımlar yanma kalitesi kötüleşene kadar genelde daha düşük emisyon değerleri verirken zengin karışımlar eksik yanmaya neden olduğundan egzoz gazları içerisindeki CO konsantrasyonunu artırır [28]. Motorun ilk çalışması sırasında buharlaşma çok yavaş olduğundan motora çok zengin bir karışım verilir ve bu emisyon seviyesini artırır. Bu nedenle, motor ısınana kadar zengin karışımla çalışmaya devam ettiğinden CO ve HC emisyonları yüksektir. Kısmi yük koşullarında çalışma durumunda ise HC ve CO emisyonlarını azaltacak ve NO_x emisyonlarını orta düzeyde tutacak şekilde fakir karışım kullanılabilir [29]. CO, yüksek konsantrasyonlarda solunduğunda zararlı olabilen renksiz ve kokusuz bir gazdır. Kanın oksijen taşıma yeteneğini bozarak sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, CO ve diğer emisyonların izin verilen düzeye indirilebilmesi için yanma sırasında veya sonrasında çeşitli yöntemler

uygulanmaktadır [30]. DME'nin yanması sonucu oluşan CO emisyonu değerlerinin daha düşük seviyede olduğu belirtilmektedir. Bunun, DME'nin moleküler yapısında karbon atomlarının hidrojen atomlarına oranının düşük olmasından ve yanma reaksiyonları sırasında oluşan ara türlerin daha iyi karışmasını ve hızlı oksidasyonunu kolaylaştıran yüksek oksijen içeriğine sahip olmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir. Öte yandan, DME'nin yanması sırasında CHO ve CH₂O gibi ara ürünler oluştuğundan reaksiyon sürecine bağlı olarak daha fazla miktarda CO emisyonu ortaya çıkabilmektedir. Egzoz gazları içindeki CO emisyonunun artması durumunda CO emisyonunun minimize edilebilmesi için katalitik konvertör gibi sistemlerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir [31]. DME'nin düşük karbon hidrojen oranına sahip olmasının, kimyasal yapısında direkt bağlı karbon bulunmamasının ve yüksek oksijen içeriğine sahip olmasının ara türlerin daha hızlı ve daha etkili oksidasyonunu sağladığı ve bunun CO ve HC emisyonlarını azalttığı bildirilmiştir. Ancak, CO emisyonunun motorun çalışma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebildiği de belirtilmektedir. Genel olarak DME'nin iyi karışım oluşturma özelliği sayesinde yanma sürecinde yakıt açısından zengin bölgelerin azaldığı ve böylece daha düşük CO emisyonu elde edildiği ifade edilmektedir [32].

5. DİMETİL ETERİN CO EMİSYONUNA ETKİLERİ

Şekil 3(a)'da benzin ve DME yakıtları için soğuk ilk çalışma sırasında CO emisyonunun zamanla değişimi verilmiştir. Soğuk ilk çalıştırma sırasında ortaya çıkan yüksek emisyon değerleri içten yanmalı motorlarda çözülmesi gereken en önemli sorunlardan birisidir. Düşük sıcaklık seviyesi ve soğukta ilk hareketi sağlamak için elektronik kontrol ünitesi (EKU) tarafından silindire yüksek miktarda yakıt gönderilmesi sonucu püskürtüldüğünde benzinin atomize olması ve yanma odasında buharlaşması zorlaşmaktadır. Bu nedenle, soğukta ilk çalıştırma sırasında yüksek oranda CO ve HC emisyonları ortaya çıkmaktadır. Şekil 3(a)'da görüldüğü gibi benzin ve DME yakıtları için CO emisyonu zamana bağlı olarak önce ani bir şekilde artmakta daha sonra hızla azalarak sabit bir değere ulaşmaktadır. CO emisyonunun maksimum değerleri benzin için %3,01 ve DME için %2,95 olarak elde edildiği bildirilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi soğukta ilk çalıştırma sırasında motorun ilk hareketini sağlayabilmek için silindire fazla miktarda yakıt gönderilmesi sonucunda oluşan zengin yakıt-hava karışımının eksik yanmaya neden olarak hem benzin hem de DME için yüksek CO emisyonunun oluşmasına neden olduğu ifade edilmiştir. İlk

hareket sağlandıktan sonra silindire gönderilen yakıt miktarının azaltılmasıyla yakıt–hava ekivalans oranının düşmesi ve silindir içi sıcaklığının yükselmesi sonucunda yanma odasında daha homojen bir yakıt–hava karışımı oluşarak yanma veriminin artması ile her iki yakıt için CO emisyonunun azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, motorun ilk çalışmasından 15 saniye sonra DME’ye ait CO emisyonu değerleri benzine ait değerlerin yarısından daha düşüktür. Bu durumun, DME’in gaz fazında silindire girmesi ve içeriğinde oksijen bulunması sonucunda daha homojen bir yakıt–hava karışımı oluşturarak yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir [33].



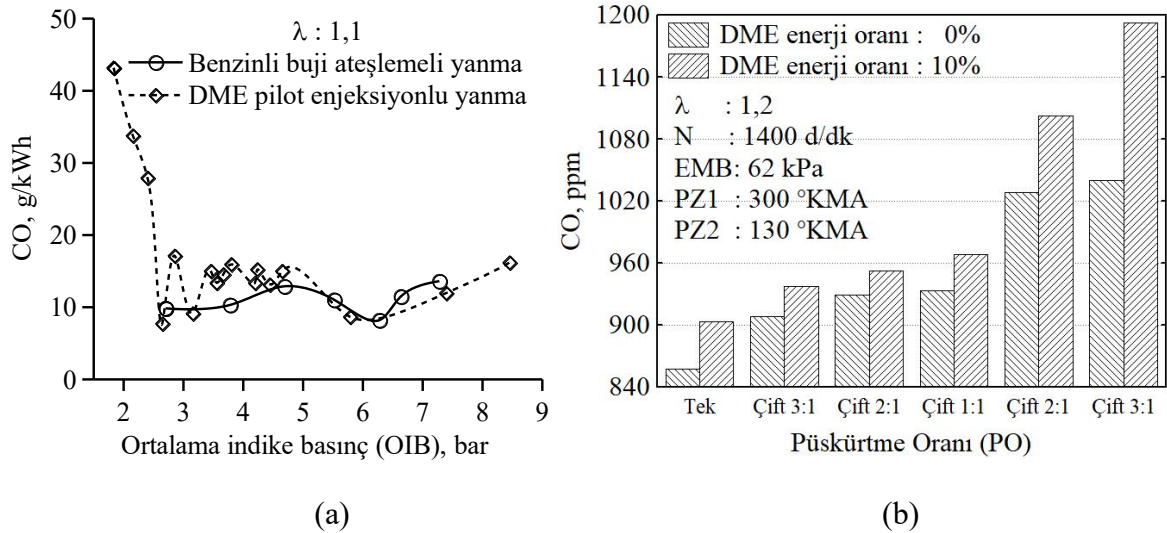
Şekil 3. CO emisyonunun a) benzin ve DME yakıtları için soğuk ilk çalışma sırasında zamanla değişimi [33] ve b) benzin, LPG ve DME20 yakıtları için soğuk ve sıcak ilk çalışma sırasında değişimi [34]

Şekil 3(b)’de benzin, LPG ve %80 LPG–%20 DME (DME20) yakıtları için soğuk ve sıcak ilk çalışma sırasında CO emisyonunun değişimi verilmiştir. DME20 karışımı için standart LPG kiti ve modifiye edilmiş LPG kiti olmak üzere iki farklı sistem kullanılmıştır. Standart LPG kitinin ayarları LPG yakıtının özelliklerine göre modifiye edilmiş LPG kitinin ayarları ise DME20 karışımına göre yapılmıştır. Şekil 3(b)’de görüldüğü gibi benzin yakıtı Euro IV emisyon limitine (1 g/km) oldukça yakın değer verirken LPG ve DME20 yakıtları oldukça düşük CO emisyonu değerleri vermiştir. Bu durumun LPG ve DME20 yakıtları kullanıldığında motorun fakir yakıt–hava oranı ile çalışabilmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Öte yandan, Şekil 3(b)’de görüldüğü gibi standart LPG kiti ile DME20 yakıtı haricinde genel olarak soğuk ilk çalıştırmada CO emisyonu değerlerinin sıcak ilk çalıştırmaya göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Soğuk ilk çalışma periyodunda düşük sıcaklık nedeniyle katalitik konvertör veriminin daha düşük olması sonucunda daha yüksek emisyon

değerlerinin ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak DME20 yakıtıyla elde edilen CO emisyonu değerlerinin benzin ve LPG yakıtına göre önemli ölçüde düşük olduğu belirlenmiştir [34].

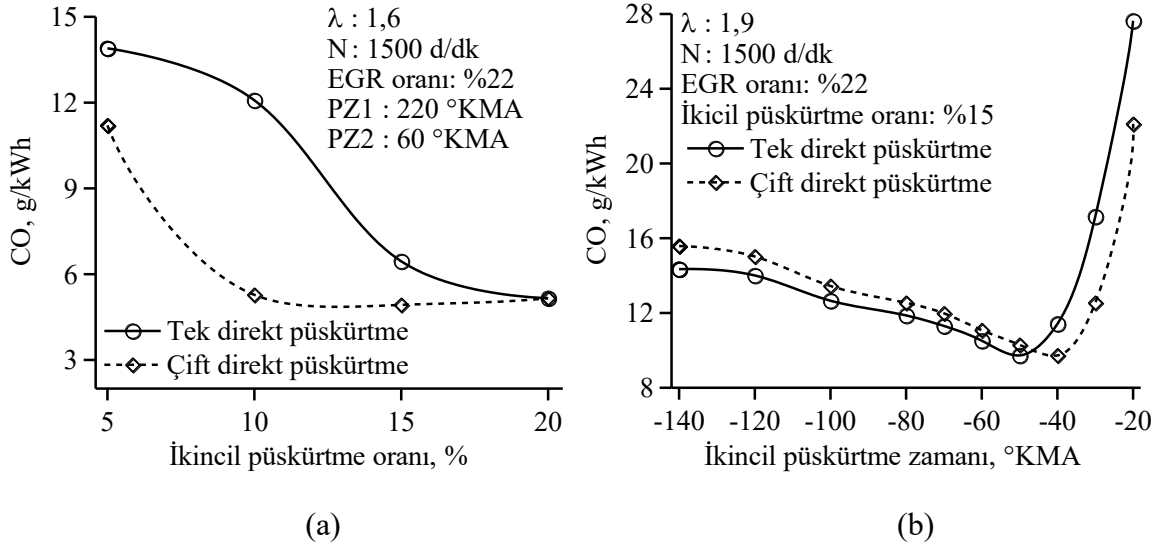
Şekil 4(a)'da benzin ve DME yakıtları kullanılması durumunda farklı yanma stratejileri için CO emisyonunun ortalama indike basınç (OIB–motor yükü) ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi düşük motor yükü değerlerinde DME'nin pilot enjeksiyonlu–kontrollü kendiliğinden ateşlemeli (CAI) veya diğer adıyla homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) yanma durumunda CO emisyonu oldukça yüksek değerler alırken motor yükü arttıkça buji ateşlemeli ve DME pilot enjeksiyonlu yanma durumlarında yaklaşık aynı CO emisyonu değerleri elde edilmiştir. Bu durumun, 3 barın altındaki motor yüklerinde DME pilot enjeksiyonlu yanma durumunda homojen olmayan fakir karışımla çalışma nedeniyle yanma veriminin nispeten düşük olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir [35]. Şekil 4(b)'de belirtilen çalışma koşullarında benzin ve DME yakıtları ile %10 DME–benzin karışımı kullanılması durumunda farklı püskürtme stratejileri için CO emisyonunun değişimi verilmiştir. İçten yanmalı motorlarda CO emisyonu genellikle yetersiz oksijenle çalışma koşullarında üretilir. Bu nedenle, tekli püskürtmenin homojen bir yakıt–hava karışımı oluşturarak fakir karışımla yanma sonucunda CO emisyonunun azalmasına katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Çift püskürtme durumunda ise CO emisyonu tekli püskürtmeye göre artmakta ve ikincil püskürtme miktarının artması CO emisyonunun daha fazla artmasına neden olmaktadır. Çift püskürtme durumunda püskürtme oranının (PO) 1:3 değeri için maksimum CO emisyonu değerleri saf benzin ve benzine %10 DME katkısı için 1041 ppm ve 1192 ppm olarak elde edilmiş olup tekli püskürtme ile kıyaslandığında %21,4 ve %32,1 oranlarında artış olduğu belirlenmiştir. Çiftli püskürtme stratejisi uygulandığında sıkıştırma zamanında püskürtülen yakıtın bir kısmı ateşleme için kullanıldığından karışım oluşumu için gerekli sürenin azalması nedeniyle yakıtın atomizasyonu ve buharlaşmasının bozulduğu ve zengin karışım bölgesinin eksik yanmaya neden olması sonucunda yüksek oranda CO emisyonu üretildiği belirtilmiştir. Ayrıca, ikincil püskürtme oranının artırılmasının daha fazla CO emisyonu oluşmasına neden olabileceği ifade edilmiştir. Öte yandan, yerel olarak aşırı fakir karışımın bulunduğu bölgelerde yanma tamamlanmadan alevin sönmesinin de CO emisyonu açısından sorun oluşturduğu ve bu nedenle ikincil püskürtme oranının artmasıyla CO emisyonunda artış meydana geldiği bildirilmiştir. Diğer taraftan, benzinle birlikte DME kullanılması da CO emisyonunun artmasına neden olmuştur. Bunun muhtemel sebebinin yüksek

sıcaklık bölgelerinde DME'nin pirolizinin yani hidroksil (OH) ve CO gibi aktif radikalleri serbest bırakmasının olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle, direkt püskürtmeli benzin motorunda benzinle birlikte DME kullanılmasının CO emisyonun artmasına neden olduğu belirtilmiştir [11].



Şekil 4. CO emisyonunun benzin ve DME yakıtları kullanılması durumunda a) farklı yanma stratejileri [35] ve b) farklı püskürtme stratejileri için [11] değişimi

Şekil 5(a)'da CO emisyonunun DME'nin tek ve çift seferde püskürtülmesi durumunda ikincil püskürtme oranı ile değişimi verilmiştir. Şekil 5(a)'da görüldüğü gibi CO emisyonu ikincil püskürtme oranının artışı ile azalmış ve CO emisyonu değerlerinin OİB ile ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Böylece, %5 ikincil püskürtme oranındaki OİB değerinin %10 ikincil püskürtme oranındaki OİB değerinden düşük olmasına rağmen %5 ikincil püskürtme oranındaki CO emisyonunun %10 ikincil püskürtme oranındaki CO emisyonundan biraz daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu durumun OİB değeri arttıkça daha yüksek yanma sıcaklıkları ortaya çıkmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Öte yandan, genel olarak çoklu püskürtmenin tekli püskürtmeye göre daha düşük CO emisyonu değerleri verdiği belirlenmiş ve DME ile daha düşük CO emisyonu değerleri elde edilmesinin DME'nin içeriğinde oksijen bulunmasının yanı sıra daha düşük C/H oranına sahip olması ve kimyasal yapısında direkt C-C bağı olmaması sayesinde daha verimli bir yanma sağlamasından kaynaklandığı belirtilmiştir [36].



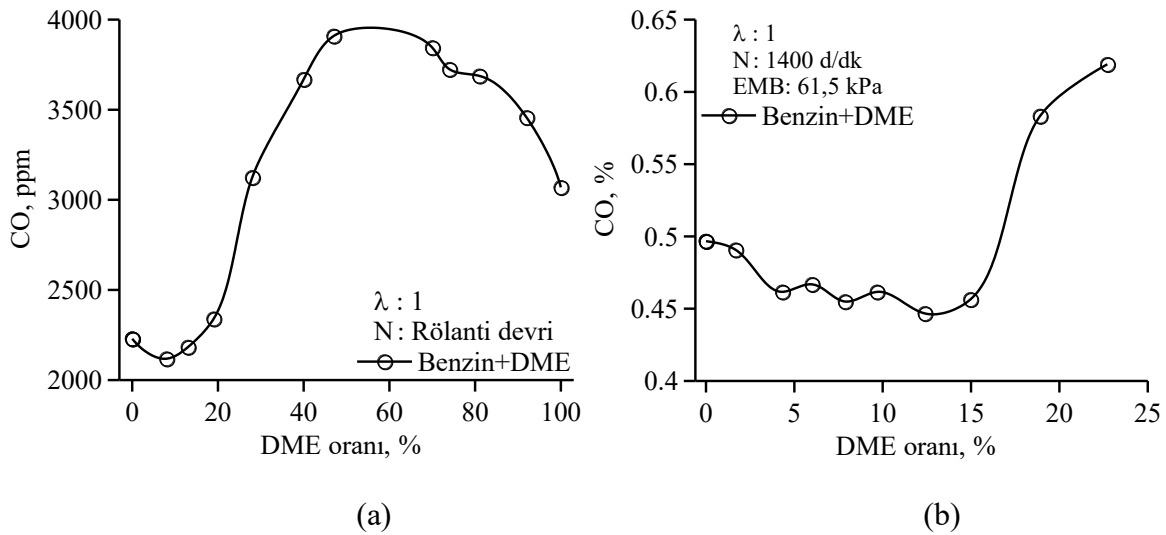
Şekil 5. CO emisyonunun tek ve çift püskürtme durumunda a) ikincil püskürtme oranıyla [36] b) ikincil püskürtme zamanıyla değişimi [37]

Şekil 5(b)'de CO emisyonunun DME'nin tek ve çift püskürtülmesi durumunda ikincil püskürtme zamanı ile değişimi verilmiştir. Şekil 5(b)'de görüldüğü gibi CO emisyonu minimum değerlere ulaşmaya kadar DME enjeksiyon zamanlamasının gecikmesi ile kademeli olarak azalmaktadır. Bunun başlıca nedeninin, yerel olarak yakıt bakımından zengin karışımlardan üretilen CO'nun daha sonra yüksek sıcaklıkta oksitlenmesi olduğu belirtilmiştir. DME'nin enjeksiyonunun geciktirilmesiyle ateşleme zamanlamasının geciktiği ve üst ölü nokta civarında daha fazla yanma gerçekleştiği ifade edilmiştir. Bunun sonucunda daha yüksek yanma sıcaklığı elde edildiği ve böylece oluşan CO'nun oksitlenerek daha fazla oranda CO₂'ye dönüşebildiği belirtilmiştir. Ancak, minimum CO emisyonu değerine ulaşıldıktan sonra DME enjeksiyonunun daha fazla geciktirilmesiyle yanma işleminin genişleşme sürecine kayması sonucunda yanma sıcaklığının düştüğü ve CO'nun CO₂'ye dönüşüm oranının azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, Şekil 5(b)'de görüldüğü gibi -40 °KMA püskürtme zamanına kadar DME'nin tek enjeksiyonuyla çift püskürtmeye göre daha az CO emisyonu ortaya çıktığı belirlenmiş ve ateşlemenin daha erken gerçekleşmesi ve yanmanın daha uzun sürmesi nedeniyle daha yüksek yanma sıcaklığına ulaşılması sonucunda daha düşük CO emisyonu elde edildiği bildirilmiştir. Ancak, -40 °KMA'nın üzerindeki püskürtme zamanlarında tek enjeksiyon durumunda CO emisyonunun çift püskürtmeye kıyasla arttığı tespit edilmiş ve bu durumun DME katkısından kaynaklandığı ifade edilmiştir. DME daha düşük C/H oranına sahip oksijenli bir yakıt olduğundan ve kimyasal yapısında direkt C-C

bağı olmadığından DME katkısı kullanıldığında CO'nun nispeten daha düşük sıcaklık bölgelerinde ve daha fakir benzin–hava karışımıyla dahi oluşabildiği ve bunun sonucunda CO emisyonunun arttığı belirtilmiştir. Sonuç olarak; DME katkısıyla ateşlemenin üst ölü nokta civarında gerçekleşmesi ve yanma süresinin kısılmasıyla motorun ürettiği yararlı işin ve termik verimin arttığı ancak CO ve HC emisyonlarının biraz yükseldiği ifade edilmiştir [37].

Şekil 6(a)'da çeşitli benzin–DME karışımları için CO emisyonunun rölanti devrinde stokiyometrik (teorik) karışımla ($\lambda=1$) çalışma durumunda DME oranı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi CO emisyonu %49 DME oranına kadar artmış daha sonra azalmıştır. CO yanma reaksiyonunda DME'nin ara ürünü olup CO oluşumu kimyasal kinetik tarafından kontrol edildiğinden oldukça karmaşıktır. DME, oksijen içeren bir yakıt olmasına rağmen metoksimetil radikallerinin kesilmesinin formaldehit ve CO oluşumunu artırabileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle, düşük DME oranlarında CO emisyonu artan DME oranı ile artmakta ancak %49 DME oranından sonra CO emisyonu bir miktar azalmaktadır. Bunun nedeninin, DME'nin düşük sıcaklıkta başlayan yanma reaksiyonunun DME oranı arttıkça silindir sıcaklığını artırarak CO'nun azalmasına katkı sağlaması olduğu şeklinde ifade edilmiştir. Bunun ise CO'nun CO₂'ye dönüşüm oranını artırıp DME oranının artmasıyla CO emisyonun önce artıp daha sonra azaldığı belirtilmiştir [38]. Şekil 6(b)'de benzin–DME karışımları için CO emisyonunun 61,5 kPa emme manifoldu basıncı (EMB) altında, 1400 d/dk devir sayısında ve stokiyometrik karışımla ($\lambda=1$) çalışma durumunda DME oranı ile değişimi verilmiştir. CO'nun eksik yanma ürünü olup sadece yakıt–hava oranından değil aynı zamanda silindir sıcaklığı ve reaksiyon süresinden de doğrudan etkilendiği belirtilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi CO emisyonu artan DME oranı ile önce azalmakta daha sonra hızlı bir şekilde artmaktadır. Saf benzin kullanılması durumunda CO emisyonu değeri %0,497 iken %12,4 DME oranında %0,447 minimum değerine ulaşmıştır. Ancak, DME oranının %15 değerinin üzerinde artırılması benzine kıyasla CO emisyonunun artmasına neden olmuştur. DME katkısı kullanıldığında CO emisyonundaki azalmanın temel nedeninin DME'nin kimyasal yapısında benzine göre daha düşük oranda karbon bulunmasının olduğu belirtilmiştir. Öte yandan, DME'nin içeriğinde oksijen bulunmasının yanmanın iyileşmesini sağlayıp CO emisyonunu azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca, DME silinire gaz halinde püskürtüldüğünden yüksek difüzyon hızı nedeniyle benzin ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak yüksek yanma hızı ve kolay tutuşma özeliği sayesinde yanma süresini kısalttığı bildirilmiştir. Bunların sonucunda, CO'nun CO₂'ye dönüşüm oranı artarak ve DME katkısı kullanıldığında CO emisyonu azaldığı

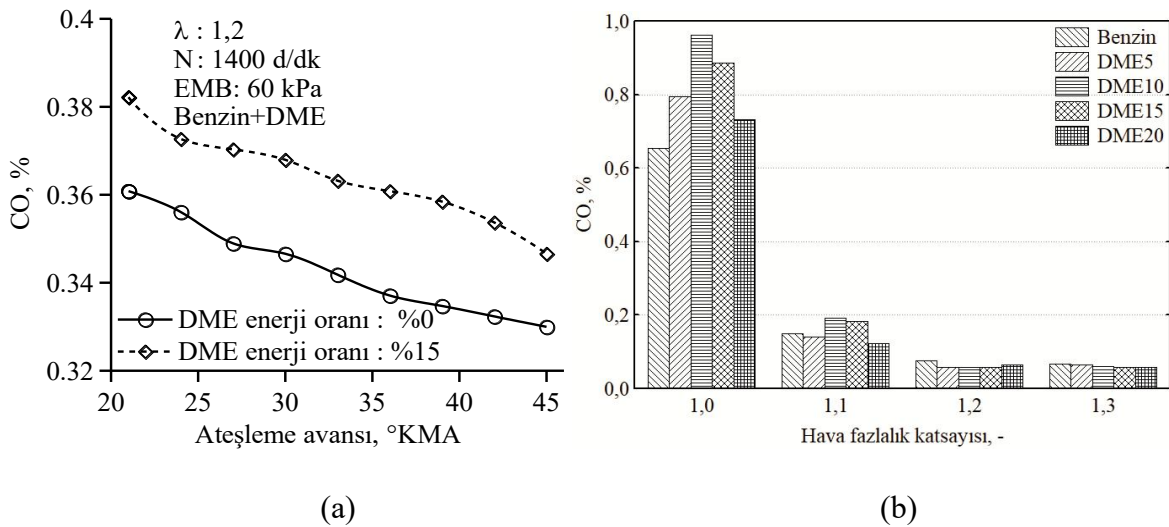
ifade edilmiştir. DME oranının %15 üzerine artırılması durumunda ise aşırı yüksek yanma hızı nedeniyle yanma odasındaki oksijen hızlıca tüketildiğinden özellikle oksijen eksikliği olan bölgelerde CO emisyonunun artış gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, HC ve CO emisyonlarının oluşumu arasında bir etkileşim olduğu, HC emisyonunun azalmasının özellikle bazı koşullar altında CO emisyonunun artışına neden olabileceği ifade edilmiştir. Yanma sırasında HC oksidasyonunun daha önce başladığı ve açığa çıkan ısı nedeniyle sıcaklık belli bir değerin üzerine ulaştığında CO oksidasyonunun başladığı bildirilmiştir. CO oksidasyonun başlaması ile daha fazla ısı salınımı nedeniyle CO'den CO₂'ye dönüşüm sürecinin hızlandığı belirtilmiştir. Ancak, DME oranının artmasıyla ateşleme avansı geciktirildiğinden CO'nun tamamen CO₂'ye dönüşmesi için kalan sürenin kısaldığı ve bunun sonucunda DME oranı artıkça HC emisyonu azalmaya devam etmesine rağmen CO emisyonunun artış gösterdiği bildirilmiştir [39].



Şekil 6. CO emisyonunun benzin–DME karışımları için a) rölantide çalışma [38] ve b) yüklü çalışma [39] durumlarında DME oranı ile değişimi

Şekil 7(a)'da benzin ve benzin–DME karışımı için CO emisyonunun 60 kPa EMB–motor yükü altında, fakir karışımla ($\lambda=1,2$) ve 1400 d/dk devir sayısında çalışma durumunda ateşleme zamanı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ateşleme avansının artırılması CO emisyonunun bir miktar azalmasını sağlarken DME katkısı CO emisyonunun artmasına neden olmuştur. Reaksiyon kinetiği ilkesine göre; DME düşük sıcaklıktaki yanma safhasında sürekli olarak CO ve OH radikali salınımına neden olmakta ve oluşan OH radikalının alevin ilerle hızını ve yanma hızını artırarak CO emisyonunu artırabileceği

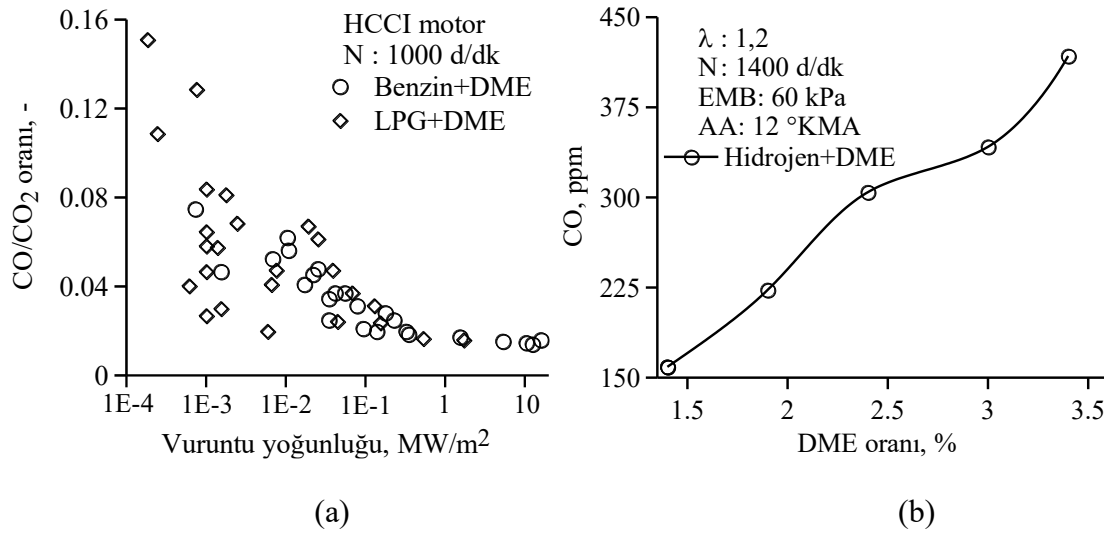
belirtilmiştir. Ayrıca, bir süre sonra metoksimetil radikallerinin kesilmesi de CO emisyonunu artırabilmektedir. Bu nedenle, DME katkısının CO emisyonunu artırdığı ifade edilmiştir [40]. Şekil 7(b)'de çeşitli benzin–DME karışımları için CO emisyonunun hava fazlalık katsayısı (λ) ile değişimi verilmiştir. Şekil 7(a)'da görüldüğü gibi stokiyometrik ($\lambda:1,0$) koşullarda saf benzin benzin–DME karışımları göre daha düşük CO emisyonu değerleri verirken fakir yakıt–hava karışımı koşullarında ($\lambda>1,0$) benzin–DME karışımları saf benzine göre daha düşük CO emisyonu değerleri vermiştir. Bu durumun, DME'nin daha düşük stokiyometrik hava–yakıt oranına sahip olması nedeniyle yakıt–hava karışımını fakirleştirmesinden ve içeriğinde oksijen bulunması sayesinde yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Öte yandan DME'nin yüksek reaktiviteye ve adyabatik sıcaklığa sahip olmasının CO emisyonun azalmasına katkı sağladığı ifade edilmiştir. Bunların sonucunda belirli bir hava fazlalık katsayısı oranında CO emisyonun artan DME oranı azaldığı bildirilmiştir. Stokiyometrik hava–yakıt oranında DME katkısı ile CO emisyonun artmasının ise DME'nin yüksek gizli buharlaşma ısısı nedeniyle yanma süresinin uzamasından ve ısı salınım oranının azalmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir [41].



Şekil 7. CO emisyonunun benzin–DME karışımı için a) ateşleme avansı ile [40] b) hava fazlalık katsayısıyla [41] değişimi

Şekil 8(a)'da benzin–DME ve LPG–DME karışımlarının HCCI motorda kullanılması durumunda CO emisyonunun 1000 d/dk devir sayısında vuruntu yoğunluğu ile değişimi verilmiştir. HCCI motorların CO emisyonu seviyelerinin buji ateşlemeli ve dizel motorlara göre daha yüksek olduğu ve bu yüksek CO emisyonunun genişleşme sırasındaki yanma sıcaklığıyla yakından ilişkili olan oksidasyon eksikliğinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Diğer

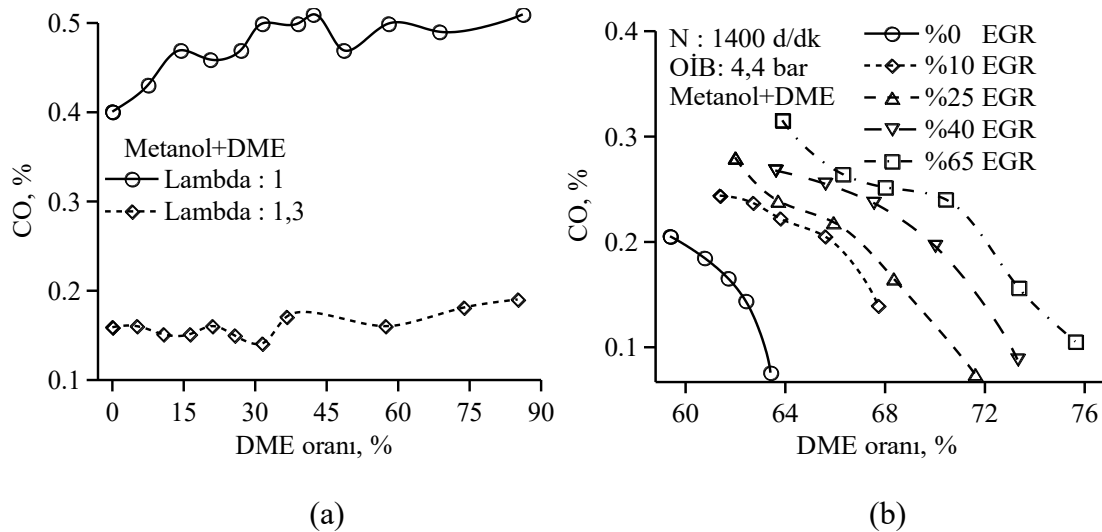
motorlara benzer biçimde HCCI motorlarda da CO emisyonunun eksik yanmanın bir göstergesi olduğu ve CO oksidasyonunun silindir içi sıcaklıktan etkilendiği bildirilmiştir. 1500 K'nin üzerindeki yanma sıcaklıklarının CO oksidasyon sürecine yardımcı olabileceği bildirilmiştir. Yüksek yanma basıncının yüksek yanma sıcaklığına ve vuruntunun artmasına yol açtığı ve vuruğu yoğunluğu arttıkça CO/CO₂ oranının dolayısıyla CO emisyonunun azaldığı belirtilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ihmal edilebilir düşük vuruğu yoğunluğu değerlerinde CO/CO₂ oranı yaklaşık 0,17 iken 0,5 MW/m² vuruğu yoğunluğu değerinden sonra yüksek yanma sıcaklığı nedeniyle CO oksidasyonunun artması sonucu CO emisyonu minimum değerlere ulaştığı belirlenmiştir [24]. Şekil 8(b)'de hidrojen–DME karışımları için CO emisyonunun 60 kPa motor yükü altında, fakir karışımla ($\lambda=1,2$) ve 1400 d/dk devir sayısında çalışma durumunda DME oranı ile değişimi verilmiştir. CO emisyonu ölçümünde Horiba marka MEXA–7100DEGR model ve ölçüm hassasiyeti 1 ppm ve hata oranı ± 1 olan bir ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi hidrojene DME katkısı CO emisyonunun artmasına neden olmakta ve DME oranının artmasıyla CO emisyonu daha da artmaktadır. Hidrojenle çalışma durumunda yağlama yağının CO emisyonunun artmasına katkı sağladığı, ancak artan DME oranı ile CO emisyonunun artışından anlaşılabileceği gibi DME'nin CO emisyonu artışının temel nedeni olduğu belirtilmiştir. DME düşük karbon oranına sahip olup kimyasal yapısında direkt C–C bağı bulunmamaktadır. Bu ise DME'nin kimyasal bağlarının bölünmesi ve oksidasyonu için oldukça faydalıdır. Ayrıca, DME'nin düşük sıcaklıktaki oksidasyonu alev cephesinin ilerlemesini ve yakıt–hava karışımının yanmasını hızlandırabilmektedir. Bu nedenle, DME oranı artarken HC emisyonundaki artış belli bir değerde sabit kalırken CO emisyonu artan DME oranı ile sürekli artmaktadır. Ayrıca, hidrojen DME'den daha yüksek yanma sıcaklığına ve daha iyi alev cephesi sönme mesafesine sahiptir. Bu nedenle, DME oranının artmasıyla yanma odası duvarına yakın yerlerde alev cephesi sönme olasılığı artmaktadır. Ayrıca, DME oranı arttıkça yanma sıcaklığının düşmesi yakıt–hava karışımının tam oksidasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bunların sonucunda, DME oranının artmasının hem HC ve hem de CO emisyonlarını artırdığı ifade edilmiştir. Ancak, HC emisyonundaki artışın CO emisyonundaki artışın yaklaşık 1/3 kadar olduğu belirtilmiştir [42].



Şekil 8. CO emisyonunun a) benzin–DME ve LPG–DME karışımları için vuru­tu yoğunluğuyla [24] ve b) hidrojen–DME karışımları için DME oranı ile [42] değişimi

Şekil 9(a)'da metanol–DME karışımları için CO emisyonunun stokiyometrik ($\lambda=1$) ve fakir ($\lambda=1,3$) karışımlarla çalışma durumunda DME oranı ile değişimi verilmiştir. Şekil 9(a)'da görüldüğü gibi CO emisyonu artan DME oranı ile az miktarda artmaktadır. Saf metanol ile çalışma durumunda CO emisyonu değerleri stokiyometrik ve fakir karışımlar için sırasıyla %0,4 ve %0,16 iken %86,3 ve %85,2 DME oranlarında CO emisyonu değerleri %27,5 ve %18,75 oranlarında artmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi CO emisyonu eksik yanma ürünü olup sadece yakıt–hava oranına bağlı olmayıp kullanılan yakıtın karbon içeriğinden doğrudan etkilenmektedir. DME'nin karbon oranının metanole göre daha yüksek olmasının CO emisyonunun artırmasına neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, DME'nin yüksek alev hızına sahip olması nedeniyle yanma odasındaki oksijeni hızla tüketerek CO emisyonunun artmasına katkı sağladığı ifade edilmiştir. Bu nedenlerle, CO emisyonunun artan DME oranı ile arttığı belirtilmiştir [43]. Şekil 9(b)'de metanol–DME karışımları için CO emisyonunun 4,4 bar motor yükü ve 1400 d/dk devir sayısında farklı egzoz gazı resirkülasyon (EGR) oranlarında DME oranı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi CO emisyonu aynı DME oranı için artan EGR oranı ile artarken aynı EGR oranı için artan DME oranı ile yanma sıcaklığının artması sonucu azalmıştır. Benzer değişimin HC emisyonu için de elde edildiği bildirilmiştir. CO emisyonu yanma sırasında oluşan ara ürünlerden biri olup oluşumu HC emisyonundan oldukça farklı ve karmaşıktır ve oluşumu kimyasal kinetik mekanizmalarıyla kontrol edilebilir. CO emisyonunun, sıcaklığın HC oksidasyonunun başlaması için yeterince yüksek olduğu silindir duvarları yakınında oluştuğu ancak silindir

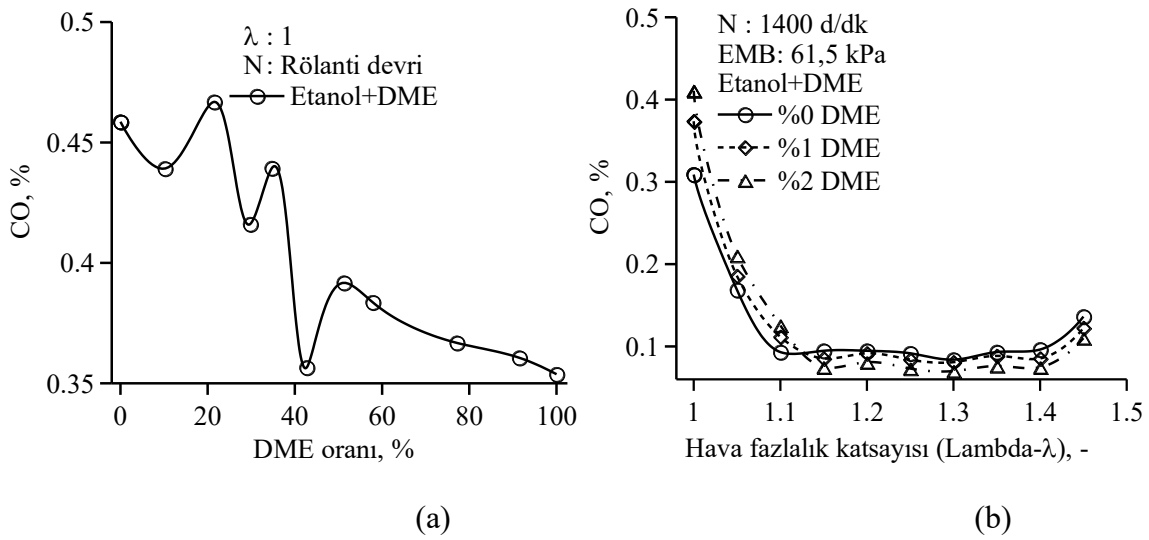
duvarlarının soğutma etkisinin CO emisyonunun tam olarak CO₂'ye dönüşümünü engellediği belirtilmiştir. Bu nedenle, hem ortalama silindir sıcaklığı hem de silindir duvarları sıcaklığının CO emisyonu oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, EGR oranının artması ortalama silindir sıcaklığını düşürerek yanma reaksiyonun ilerleme hızını yavaşlatıp eksik yanmaya neden olmaktadır. Bunların sonucunda ara ürün olan CO'nun CO₂'ye dönüşümü tamamlanamadığından CO emisyonunun artan EGR oranı ile arttığı belirtilmiştir. Ancak, DME oranının artması ortalama silindir sıcaklığını artırdığından aynı EGR oranında DME oranının artırılması CO emisyonunun azaldığı belirtilmiştir. Bu nedenle, EGR oranı artırıldığında CO emisyonunu azaltabilmek için DME oranının artırılması gerektiği ifade edilmiştir [44].



Şekil 9. CO emisyonunun metanol–DME karışımları için a) farklı hava fazlalık katsayısı oranlarında [43] ve b) farklı egzoz gazı resirkülasyon (EGR) oranlarında [44] DME oranı ile değişimi

Şekil 10(a)'da etanol–DME karışımları için CO emisyonunun stokiometrik karışımla ($\lambda=1$) rölantide (boşta) çalışma durumunda DME oranı ile değişimi verilmiştir. Boşta çalışma durumunda özellikle CO ve HC gibi yarı yanmış emisyonların seviyesi yüklü çalışma durumuna göre daha yüksektir ve bu durum motorun boşta çalışma performansının belirlenmesinde önemli bir kriterdir. Şekil 10(a)'da görüldüğü gibi CO emisyonu artan DME oranı ile kademeli olarak azalmakta ve saf etanol için %0,46 seviyesinde iken %100 DME oranında %0,35 seviyesine düşerek %22,5'lik bir azalma göstermektedir. CO emisyonu eksik yanma nedeniyle silindirdeki yakıt–hava karışımının tamamen yanmaması sonucu ortaya çıkmakta olup CO'nun tamamen CO₂'ye dönüşebilmesi için zamana ihtiyaç olduğu ifade

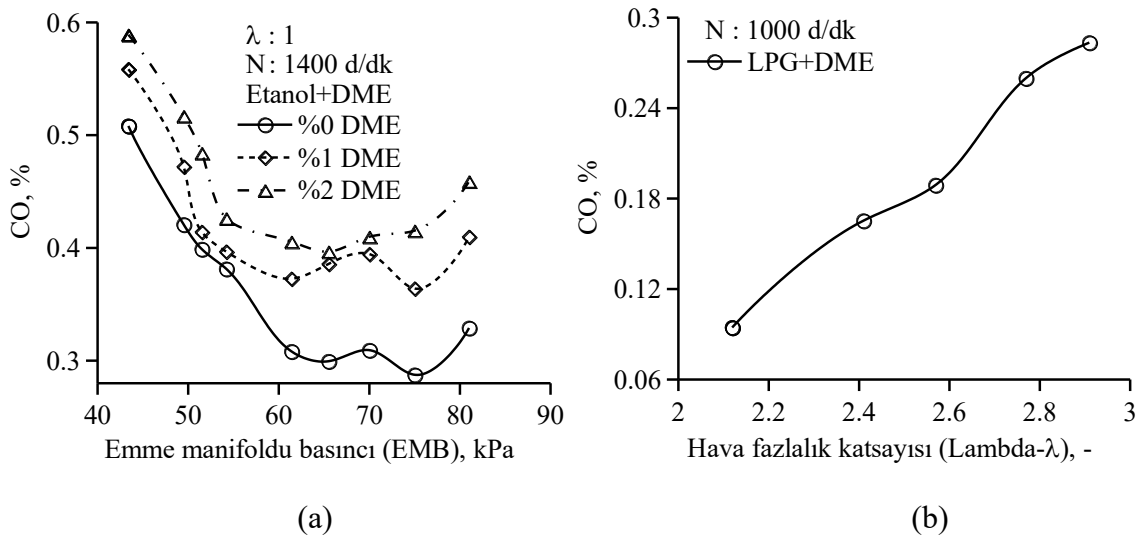
edilmiştir. DME'nin düşük sıcaklıkta oksidasyon hızı, yüksek alev hızı ve diğer özellikleri nedeniyle etanol–DME karışımları için yanmanın başlama süresi ve alev yayılımı süresinin saf etanole göre daha kısa olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, son yanma aşamasında oksidasyon ve yanma hızının DME katkısı ile iyileştiği ve DME katkısının CO emisyonunun azalmasını sağladığı ifade edilmiştir [45]. Şekil 10(b)'de CO emisyonunun 61,5 kPa EMB altında farklı etanol–DME karışımları için hava fazlalık katsayısı (λ) ile değişimi verilmiştir. Şekil 10(b)'de görüldüğü gibi CO emisyonu $\lambda=1,1$ değerine kadar artan DME oranı ile artmış $\lambda=1,1$ değerinden sonra ise artan DME oranı ile azalmıştır. DME'nin yanma hızının yüksek olması nedeniyle özellikle son yanma fazında yakıtın oksidasyonu için yeterli süre kalmamakta ve $\lambda=1,1$ değerine kadar yanma odasındaki oksijen miktarı nispeten düşük olduğundan DME katkısının CO emisyonun artmasına neden olduğu belirtilmektedir. $\lambda=1,1$ değerinden sonra ise hava fazlalık katsayısının artmasıyla silindirde nispeten daha fazla hava/oksijen bulunması nedeniyle daha homojen bir yakıt–hava karışımı elde edilmekte ve DME'nin yüksek yanma hızı sayesinde daha verimli bir yanma olduğu belirtilmiştir. Bunun sonucunda, CO emisyonunun $\lambda=1,1$ değerinden sonra artan DME oranı ile azaldığı ifade edilmiştir [46].



Şekil 10. CO emisyonunun etanol–DME karışımları için a) DME oranı ile [45] ve b) hava fazlalık katsayısı ile [46] değişimi

Şekil 11(a)'da CO emisyonunun farklı etanol–DME karışımları için stokiyometrik karışım ($\lambda=1$) ve 1400 d/dk devir sayısında çalışma durumunda EMB–motor yükü ile değişimi verilmiştir. Şekil 11(a)'da görüldüğü gibi CO emisyonu tüm yakıtlar için EMB=70

kPa değerine kadar azalmış bu değerden sonra ise bir miktar artış eğilimi göstermiştir. Diğer taraftan, CO emisyonu artan DME oranı ile artmış, EMB=81 kPa değerinde saf etanol için %0,33 olan CO emisyonu değeri %2 DME katkısı ile %0,46 değerine yükselmiş ve %2 DME oranında tüm motor yüklerinde CO emisyonundaki ortalama artış oranının %30–40 olduğu belirtilmiştir. CO emisyonundaki bu artışın DME'nin yüksek yanma hızına sahip olması CO emisyonunun CO₂'ye dönüşebilmesi için yeterli zamanın kalmamasından kaynaklandığı ve bunun sonucunda artan DME oranı ile CO emisyonun arttığı ifade edilmiştir [47].

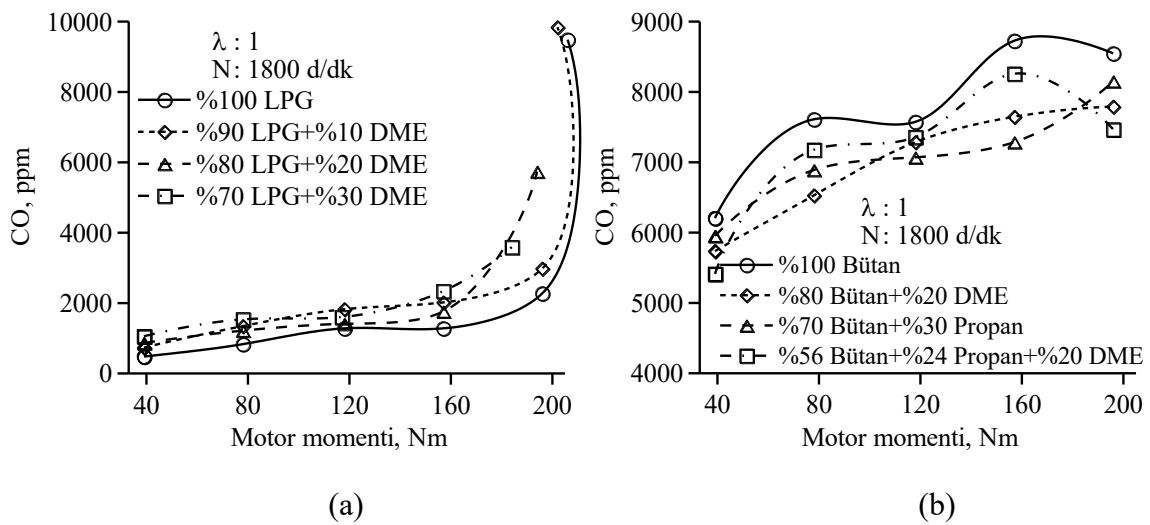


Şekil 11. CO emisyonunun a) farklı etanol–DME karışımları için emme manifoldu basıncı (EMB) ile [47] ve b) LPG–DME karışımı için hava fazlalık katsayısı ile [24] değişimi

Şekil 11(b)'de CO emisyonunun homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) bir motorda 1000 d/dk devir sayısında LPG–DME karışımı için hava fazlalık katsayısı (λ) ile değişimi verilmiştir. Şekil 11(b)'de görüldüğü gibi CO emisyonu LPG–DME karışımı için artan hava fazlalık katsayısı ile sürekli olarak artmıştır. Bu durumun, hava fazlalık katsayısının artması nedeniyle fakir yakıt–hava karışımıyla çalışma sonucunda düşen yanma sıcaklığından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Hızlı yanma sonucu ani olarak yükselen basınç ve sıcaklık nedeniyle HCCI motorların CO emisyonu değerlerinin buji ateşlemeli ve dizel motorlardan daha yüksek olduğu bilinmektedir. Diğer motorlarda olduğu gibi HCCI motorlarda da CO emisyonu eksik yanmanın bir göstergesi olup CO oksidasyonunun artmasıyla azalmakta ve CO oksidasyonu için yeterli süresinin olmaması durumunda artmaktadır. CO oksidasyonu süresi ise yanma sıcaklığına bağlı olup 1500 K ve üzerindeki sıcaklıkların CO oksidasyonunu ve vuruntu oluşumunu artırdığı bildirilmiştir. Diğer taraftan,

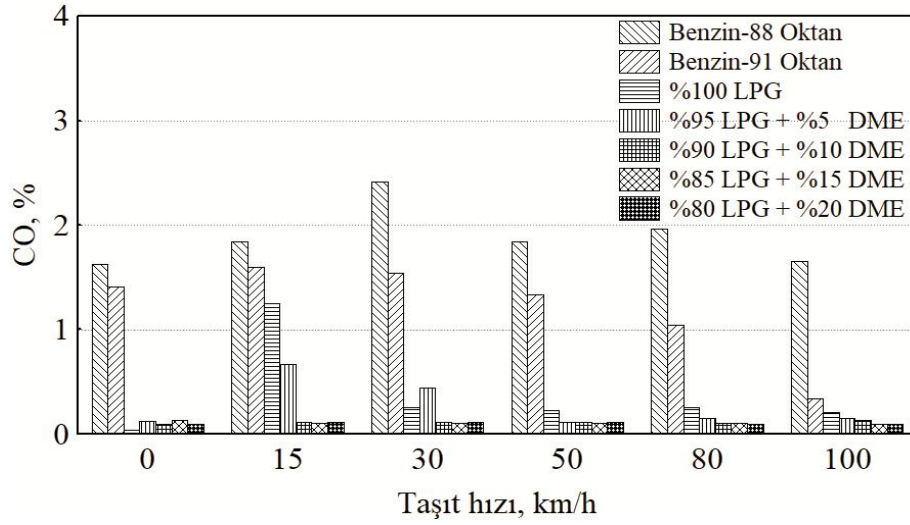
CO/CO₂ oranının vuruntu indeksine bağlı olduğu ve tolere edilebilir düşük vuruntu indeksi değerlerinde CO/CO₂ oranının dolayısıyla CO emisyonunun oldukça düşük değerlere ulaşabileceği ifade edilmiştir. HCCI motorlarda CO ve HC emisyonlarını minimum değerde tutabilmenin yüksek sıcaklıkta kısa süreli ve güçlü yanma ile mümkün olabileceği ifade edilmiştir [24].

Şekil 12(a)'da CO emisyonunun 1800 d/dk devir sayısında LPG ve farklı LPG–DME karışımları için motor momenti ile değişimi verilmiştir. Şekil 12(a)'da görüldüğü gibi CO emisyonu 160 Nm motor momentinden sonra ani olarak artmıştır. Bunun 160 Nm moment değerinden sonra zengin yakıt–hava karışımı kullanılması nedeniyle ortaya çıkan eksik yanmadan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Diğer taraftan, LPG–DME karışımları kullanıldığında CO emisyonu değerleri saf LPG yakıtına göre bir miktar artmıştır. Bu durumun ise DME'nin düşük oktan sayısına sahip olması nedeniyle motorun vuruntulu çalışmasına neden olması sonucu ortaya çıktığı ifade edilmiştir [48].



Şekil 12. CO emisyonunun a) LPG ve farklı LPG–DME karışımları için [48] ve b) Bütan ve farklı Bütan–Propan–DME karışımları için [49] motor momenti ile değişimi

Şekil 12(b)'de CO emisyonunun 1800 d/dk devir sayısında bütan ve farklı bütan–propan–DME karışımları için motor momenti ile değişimi verilmiştir. Şekil 12(b)'de görüldüğü gibi CO emisyonu farklı bütan–propan–DME karışımları kullanıldığında saf bütana kıyasla azalmıştır. Bunun, propanın yüksek oktan sayısına sahip olmasından ve DME'nin başta içeriğinde oksijen bulunması ve diğer yanmayı iyileştirici özelliklerinden kaynaklandığı ifade edilmiştir [49].



Şekil 13. CO emisyonunun buji ateşlemeli bir motorda benzin, LPG ve farklı LPG–DME karışımları kullanılması durumunda taşıt hızı ile değişimi [50]

Şekil 13’de CO emisyonunun buji ateşlemeli bir motorda benzin, LPG ve farklı LPG–DME karışımları kullanılması durumunda taşıt hızı ile değişimi verilmiştir. Şekil 13’de görüldüğü gibi CO emisyonu değerleri tüm yakıt ve karışımlar için 30 km/h taşıt hızına kadar artmış bu değerden sonra ise azalmıştır. Bu durumun ilgili taşıt hızlarında motorun çalıştığı yakıt–hava karışımından diğer bir ifadeyle hava fazlalık katsayısından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Diğer taraftan, saf LPG ve LPG–DME karışımları 88 ve 91 oktanlı saf benzin yakıtlarına göre daha düşük CO emisyonu değerleri vermiştir. Saf LPG ve LPG–DME karışımları kullanıldığında CO emisyonundaki azalmaların LPG ve DME’nin gaz fazında silindire girmesi nedeniyle daha homojen bir yakıt–hava karışımı oluşturması ve LPG’nin oktan sayısının benzine göre daha yüksek olması nedeniyle yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Benzer şekilde 91 oktanlı benzin kullanıldığında 88 oktanlı benzine göre daha düşük CO emisyonu değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, LPG ve DME’nin molekül yapılarının benzine göre daha basit olmasının yani daha düşük karbon içeriğine sahip olmasının ve DME’nin içeriğinde oksijen bulunmasının CO emisyonunun azalmasına katkı sağladığı belirtilmiştir [50].

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada buji ateşlemeli motorlarda benzin veya diğer yakıtlarla birlikte DME kullanılmasının CO emisyonuna etkileri literatüre dayalı olarak incelenmiştir. Bulguların

ışığında DME'nin buji ateşlemeli motorlarda kullanılabilirliğinin olduğu görülmüş olup aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

- Soğuk ilk çalışma sırasında CO emisyonunun başlangıçta benzin için %3,01 ve DME için %2,95 gibi yüksek değerlerde iken birkaç saniye sonra hızlı bir şekilde azaldığı ve DME'nin benzinin yaklaşık yarısı kadar CO emisyonu değerleri verdiği tespit edilmiştir. %80 LPG-%20 DME (DME20) karışımı için soğuk ve sıcak ilk çalışma sırasında da CO emisyonunun önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.
- Stokiyometrik karışımla ($\lambda=1$) rölantide çalışma durumunda benzinle birlikte DME kullanılması durumunda %49 karışım oranına kadar CO emisyonunun hızlı bir şekilde arttığı bu karışım oranından sonra artan DME oranıyla sürekli azaldığı belirlenmiştir.
- Benzinli buji ateşlemeli yanma ve DME pilot enjeksiyonlu yanma için aynı hava fazlalık katsayısı ($\lambda=1,1$) altında düşük yükte çalışma durumunda DME oldukça yüksek CO emisyonu değerleri verirken orta ve yüksek yüklerde benzin ve DME'nin yaklaşık aynı CO emisyonu değerleri verdiği tespit edilmiştir.
- Direkt püskürtmeli buji ateşlemeli motorda saf benzin ve %10 oranında DME kullanılması durumunda çoklu (çift) püskürtmenin tekli püskürtmeye kıyasla daha yüksek CO emisyonu verdiği ve ikincil püskürtme oranının artırılmasının ve DME katkısının CO emisyonunu daha fazla artırdığı tespit edilmiştir. 1:3 oranında çiftli püskürtme yapıldığında maksimum CO emisyonu değerlerinin saf benzin için 1041 ppm ve %10 DME oranı için 1192 ppm olarak elde edildiği ve %10 DME katkısının %12,7 oranında artışa neden olduğu belirlenmiştir.
- Buji ateşlemeli motorlarda CO emisyonunun ateşleme zamanının değişiminden önemli ölçüde etkilenmediği aynı ateşleme avansı ve hava fazlalık katsayısı ($\lambda=1,2$) değerinde benzinle birlikte %15 oranında DME kullanıldığında CO emisyonunun yaklaşık %5 arttığı belirlenmiştir.
- Stokiyometrik karışımla ($\lambda=1$) çalışma durumunda CO emisyonunun artan DME oranıyla önce azalıp sonra arttığı, benzinle çalışma durumunda %0,497 olan CO emisyonunun %12,4 DME oranında %0,447 minimum değerine ulaşarak yaklaşık %10 azaldığı ve DME oranının %15 ve üzerinde artırılmasının CO emisyonunu artırdığı tespit edilmiştir.

- Buji ateşlemeli bir motorda $\lambda=1,2$ hava fazlalık katsayısı değerinde hidrojen ile birlikte DME kullanıldığında CO emisyonunun artan DME oranı ile sürekli olarak arttığı saf hidrojen için yaklaşık 154 ppm olan CO emisyonu değerinin %3,4 DME oranında yaklaşık %173 aratarak 420 ppm değerine ulaştığı tespit edilmiştir.
- Buji ateşlemeli bir motorda stokiyometrik ($\lambda=1$) ve fakir karışımla ($\lambda=1,3$) çalışma durumlarında metanol ile birlikte DME kullanıldığında CO emisyonunun az miktarda arttığı belirlenmiştir. Stokiyometrik ve fakir karışımla çalışma durumunda saf metanol için sırasıyla %0,4 ve %0,16 olan CO emisyonunun stokiyometrik karışım için %86,3 DME oranında %27,5 ve fakir karışım için %85,2 DME oranında %18,75 oranlarında arttığı tespit edilmiştir
- Buji ateşlemeli bir motorda rölantide stokiyometrik karışımla ($\lambda=1$) çalışma durumunda etanol ile birlikte DME kullanılmasının CO emisyonunu azalttığı belirlenmiş ve saf etanol için %0,46 olan CO emisyonunun %100 DME oranında yaklaşık %22,5 azalarak %0,35 değerine düştüğü belirlenmiştir.
- $\lambda=1,1$ hava fazlalık katsayısında yüklü çalışma durumunda etanol ile birlikte %1–2 oranında DME kullanılmasının CO emisyonunun artmasına neden olduğu ancak hava fazlalık katsayısının 1,1 değerinin üzerine çıkarılmasıyla CO emisyonunun az miktarda azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, CO emisyonunun 70 kPa emme manifoldu basıncına (motor yüküne) kadar azalma eğilimi gösterdiği ancak 70 kPa'nın üzerindeki yüklerde CO emisyonunun arttığı ve aynı motor yükü değerinde DME katkısıyla CO emisyonunun arttığı 81 kPa motor yükünde saf etanol için %0,33 olan CO emisyonunun %2 DME oranında yaklaşık %28,3 aratarak %0,46 değerine ulaştığı belirlenmiştir.
- Buji ateşlemeli bir motorda LPG ile birlikte %30 oranına kadar DME kullanılmasının artan motor yüküyle özellikle de yüksek yüklerde CO emisyonunu az miktarda artırdığı tespit edilmiştir. Ancak, buji ateşlemeli motora sahip bir taşıtla farklı hızlarda yapılan yol testlerinde LPG ile birlikte %20 oranına kadar DME kullanılmasının özellikle yüksek taşıt hızlarında CO emisyonunu benzine kıyasla önemli oranlarda LPG'ye kıyasla daha düşük oranlarda azalttığı belirlenmiştir.
- Ani ve hızlı gerçekleşen yanma nedeniyle yakıtın tamamen oksitlenmesi için yeterli zaman olmadığından kontrollü kendiliğinden ateşlemeli (CAI) veya diğer adıyla homojen dolgulu

sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) motorların CO emisyonu değerlerinin geleneksel buji ateşlemeli ve dizel motorlardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

- HCCI motorlarda LPG–DME karışımları kullanıldığında CO emisyonu değerlerinin hava fazlalık katsayısının artırılmasıyla yani yakıt–hava karışımının fakirleşmesiyle arttığı ancak vuruntu yoğunluğunun artması ile azaldığı belirlenmiştir.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

λ	: Lambda–Hava fazlalık katsayısı	HCCI	: Homojen dolgu sıkıştırma ile ateşlemeli
$^{\circ}$	: Derece	K	: Kelvin
AA	: Ateşleme avansı	KMA	: Krank mili açısı
C	: Karbon	LNG	: Sıvılaştırılmış doğalgaz
CAI	: Kontrollü kendiliğinden ateşlemeli	LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz	N	: Devir sayısı
CO	: karbon monoksit	NO _x	: Azot oksitler
CO ₂	: Karbondioksit	O	: Tek atomlu oksijen
DME	: Dimetil eter	O ₂	: Çift atomlu oksijen
EGR	: Egzoz gazı resirkülasyonu	OİB	: Ortalama indike basınç
EKU	: Elektronik kontrol ünitesi	OH	: Hidroksil
EMB	: Emme manifoldu basıncı	PM	: Partikül madde
H	: Tek atomlu hidrojen	PO	: Püskürtme oranı
H ₂	: Çift atomlu hidrojen	PZ	: Püskürtme zamanı
HC	: Hidrokarbon		

KAYNAKÇA

- [1] Denys Stepanenko, Zbigniew Kneba, “DME as alternative fuel for compression ignition engines–a review”, Combustion Engines, 177(2), ss. 172–179, 2019.
- [2] Troy A. Semelsberger, Rodney L. Borup, Howard L. Grene, “Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel”, Journal of Power Sources, 156, ss. 497–511, 2006.
- [3] Omar I. Awad, R. Mamat, Thamir K. Ibrahim, Ali Thaeer Hammid, I. M. Yusri, Mohd Adnin Hamidi, Ali M. Humada, A. F. Yusop, “Overview of the oxygenated fuels in

- spark ignition engine: Environmental and performance”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, ss. 394–408, 2018.
- [4] Omar I. Awad, R. Mamat, Obed M. Ali, N. A. C. Sidik, T. Yusaf, K. Kadirgama, Maurice Kettner, “Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, ss. 2586–2605, 2018.
- [5] Stanisław Kruczyński, Marcin Ślęzak, Wojciech Gis, Piotr Orliński, Andrzej Kulczycki, Wojciech Dziągiewski, Mateusz Bednarski, “Problems in fuelling spark ignition engines with dimethyl ether”, *Combustion Engines*, 170(3), ss. 154–158, 2017.
- [6] Yanuandri Putrasari, Ocktaeck Lim, “Dimethyl ether as the next generation fuel to control nitrogen oxides and particulate matter emissions from internal combustion engines: A review”, *ACS Omega*, 7, ss. 32–37, 2022.
- [7] Constantine Arcoumanis, Choongsik Bae, Roy Crookes, Eiji Kinoshita, “The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review”, *Fuel*, 87, ss. 1014–1030, 2008.
- [8] Lei Shi, Changwei Ji, Shuofeng Wang, Teng Su, Xiaoyu Cong, Du Wang, Chuanqi Tang, “Effects of second injection timing on combustion characteristics of the spark ignition direct injection gasoline engines with dimethyl ether enrichment in the intake port”, *Energy*, 180, ss. 10–18, 2019.
- [9] Yuhan Huang, Nic C. Surawski, Yuan Zhuang, John L. Zhou, Guang Hong, “Dual injection: An effective and efficient technology to use renewable fuels in spark ignition engines”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, ss. 110921, 2021.
- [10] Yong Qian, Zilong Li, Liang Yu, Xiaole Wang, Xingcai Lu, “Review of the state-of-the-art of particulate matter emissions from modern gasoline fueled engines”, *Applied Energy*, 238, 1269–1298, 2019.
- [11] Lei Shi, Changwei Ji, Shuofeng Wang, Xiaoyu Cong, Teng Su, Cheng Shi, “Impacts of dimethyl ether enrichment and various injection strategies on combustion and emissions of direct injection gasoline engines in the lean-burn condition”, *Fuel*, 254, ss. 115636, 2019.
- [12] F. Zhao, M.-C. Lai, D. L. Harrington, “Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 25, ss. 437–562, 1999.

- [13] Karittha Imorb, Amornchai Arpornwichanop, “Comparative techno-economic assessment of bio-methanol and bio-DME production from oil palm residue”, *Energy Conversion and Management*, 258, 115511, 2022.
- [14] Zoha Azizi, Mohsen Rezaeimanesh, Tahere Tohidian, Mohammad Reza Rahimpour, “Dimethyl ether: A review of technologies and production challenges”, *Chemical Engineering and Processing*, 82, ss. 150–172, 2014.
- [15] M. Fazlollahnejad, M. Taghizadeh, A. Eliassi, G. Bakeri, “Experimental study and modeling of an adiabatic fixed-bed reactor for methanol dehydration to dimethyl ether”, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 17(4), 630–634, 2009.
- [16] Su Han Park, Chang Sik Lee, “Applicability of dimethyl ether (DME) in a compression ignition engine as an alternative fuel”, *Energy Conversion and Management*, 86, ss. 848–863, 2014.
- [17] Seyyed Ya’ghoob Hosseini, Mohammad Reza Khosravi Nikou, “Modeling of industrial fixed bed reactor to produce dimethyl ether from methanol and determination of optimum operating conditions”, *Journal of American Science*, 8(5), ss. 218–225, 2012.
- [18] Kanit Wattanavichien, “Implementation of DME in a small direct injection diesel engine”, *International Journal of Renewable Energy*, 4(2), ss. 1–12, 2009.
- [19] M. Alam, S. Kajitani, “DME as an alternative fuel for direct injection diesel engine”, 4th International Conference on Mechanical Engineering, Dhaka–Bangladesh, 87–92, December 26–28, 2001.
- [20] Peng Geng, Erming Cao, Qinming Tan, Lijiang Wie, “Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 523–534, 2017.
- [21] Junfa Duan, Yongsheng Sun, Zhenzhong Yang, Zhiqiang Sun, Combustion and emissions characteristics of diesel engine operating on composite combustion mode of DME and diesel. *Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Material Science*, 27, ss. 463–466, 2012.
- [22] A. Kowalewicz, M. Wojtyniak, “Alternative fuels and their application to combustion engines”, *Journal of Automobile Engineering*, 219, ss. 103–125, 2005.
- [23] Ping Sun, Jincheng Feng, Song Yang, Chao Wang, Kexin Cui, Wei Dong, Yaodong Du, Xiumin Yu, Jiangdong Zhou, “Particulate number and size distribution of dimethyl

- ether/gasoline combined injection spark ignition engines at medium engine speed and load”, *Fuel*, 313, ss. 122645, 2022.
- [24] Kitae Yeom, Choongsik Bae, “Knock characteristics in liquefied petroleum gas (LPG)–dimethyl ether (DME) and gasoline–DME homogeneous charge compression ignition engines”, *Energy & Fuels*, 23, ss. 1956–1964, 2009.
- [25] Zhen Huang, Xinqi Qiao, Wugao Zhang, Junhua Wu, Junjun Zhang, “Dimethyl ether as alternative fuel for CI engine and vehicle”, *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 3(1), ss. 99–108, 2009.
- [26] Seung Hyun Yoon, June Pyo Cha, Chang Sik Lee, “An investigation of the effects of spray angle and injection strategy on dimethyl ether (DME) combustion and exhaust emission characteristics in a common–rail diesel engine.”, *Fuel Processing Technology*, 91, ss. 1364–1372, 2010.
- [27] Johannes Claßen, Sascha Krysmon, Frank Dorscheidt, Stefan Sterlepper, Stefan Pischinger, “Real driving emission calibration–review of current validation methods against the background of future emission legislation”, *Applied Science*, 11, ss. 5429, 2021.
- [28] Marco Valério Kuhlmann Raggi, José Ricardo Sodré, “Model for kinetic formation of CO emissions in internal combustion engines”, *SAE Technical Papers*, ss. 2003–01–3138, 2003.
- [29] Shete Yogesh Shreekrushna, “Engine emissions and their control: review”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(1), ss. 450–456, 2019.
- [30] Ketan Bhabad, Sumedh Aher, Sahil Mhaiske, Samarth Nagapurkar, “Review on emission control system in IC engine by 3 way catalytic converter with aluminum oxide and titanium dioxide”, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 10(11), ss. 505–518, 2023.
- [31] Patrycja Makoś, Edyta Ślupek, Joanna Sobczak, Dawid Zabrocki, Jan Hupka, Andrzej Rogala, “Dimethyl ether (DME) as potential environmental friendly fuel”, *E3S Web of Conferences*, 116, Wrocław, Poland, June 9–12, 2019.
- [32] Sanjoy Maji, Sirajuddin Ahmed, Weqar Ahmad Siddiqui, Sanjeev Aggarwal, Anil Kumar, “Impact of di–methyl ether (DME) as an additive fuel for compression ignition engine in reduction of urban air pollution”, *American Journal of Environmental Protection*, 3(2), ss. 48–52, 2015.

- [33] Changwei Ji, Chen Liang, Binbin Gao, Baojian Wei, Xiaolong Liu, Yongmimng Zhu, “The cold start performance of a spark-ignited dimethyl ether engine”, *Energy*, 50, ss. 187–193, 2013.
- [34] Sunil Kumar Pathak, Vineet Sood, Yograj Singh, Shubham Gupta, Salim Abbasbhai Channiwala, “Application of DME 20 fuel in a gasoline passenger car to comply with Euro IV emission legislation”, *SAE Technical Paper*, 2017–01–0872, 2017.
- [35] H. F. Zhang, K. Seo, H. Zhao, “Combustion and emission analysis of the direct DME injection enabled and controlled auto-ignition gasoline combustion engine operation”, *Fuel*, 107, ss. 800–814, 2013.
- [36] Xue-Qing Fu, Bang-Quan He, Hong-Tao Li, Tao Chen, Si-Peng Xu, Hua Zhao, “Effect of direct injection dimethyl ether on the micro-flame ignited (MFI) hybrid combustion and emission characteristics of a 4-stroke gasoline engine”, *Fuel Processing Technology*, 167, ss. 555–562, 2017.
- [37] Xue-Qing Fu, Bang-Quan He, Si-Peng Xu, Tao Chen, Hua Zhao, Yan Zhang, Yufeng Li, Honglin Bai, “Multi-point micro-flame ignited hybrid lean-burn combustion of gasoline with direct injection dimethyl ether”, *International Journal of Engine Research*, 22(1), ss. 140–151, 2021.
- [38] Changwei Ji, Lei Shi, Shuofeng Wang, Xiaoyu Cong, Teng Su, Menghui Yu, “Investigation on performance of a spark-ignition engine fueled with dimethyl ether and gasoline mixtures under idle and stoichiometric conditions”, *Energy*, 126, ss. 335–342, 2017.
- [39] Changwei Ji, Chen Liang, Shuofeng Wang, “Investigation on combustion and emissions of DME/gasoline mixtures in a spark-ignition engine”, *Fuel*, 90, ss. 1133–1138, 2011.
- [40] Lei Shi, Changwei Ji, Shuofeng Wang, Xiaoyu Cong, Teng Su, Du Wang, “Combustion and emissions characteristics of a S.I. engine fueled with gasoline–DME blends under different spark timings”, *Fuel*, 211, ss. 11–17, 2018.
- [41] Song Yang, Ping Sun, Jincheng Feng, Kexin Cui, Chao Wang, Wei Dong, Xiumin Yu, Ye Gu, “Combustion and emissions characteristics of combined injection gasoline engine with direct injection dimethyl ether enrichment in lean burn conditions”, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4147182>.

- [42] Xiaoyu Cong, Changwei Ji, Shuofeng Wang, “Investigation into engine performance of a hydrogen–dimethyl ether spark–ignition engine under various dimethyl ether fractions”, *Fuel*, 306, ss. 121429, 2021.
- [43] Chen Liang, Changwei Ji, Xiaolong Liu, “Combustion and emissions performance of a DME–enriched spark–ignited methanol engine at idle condition”, *Applied Energy*, 88, ss. 3704–3711, 2011.
- [44] Mingfa Yao, Zheng Chen, Zunqing Zheng, Bo Zhang, Yuan Xing, “Study on the controlling strategies of homogeneous charge compression ignition combustion with fuel of dimethyl ether and methanol”, *Fuel*, 85, ss. 2046–2056, 2006.
- [45] Changwei Ji, Chen Liang, Yongming Zhu, Xiaolong Liu, Binbin Gao, “Investigation on idle performance of a spark–ignited ethanol engine with dimethyl ether addition”, *Fuel Processing Technology*, 94, ss. 94–100, 2012.
- [46] Chen Liang, Changwei Ji, Binbin Gao, Xiaolong Liu, Yongming Zhu, “Investigation on the performance of a spark–ignited ethanol engine with DME enrichment”, *Energy Conversion and Management*, 58, ss. 19–25, 2012.
- [47] Chen Liang, Chanwei Ji, Binbin Gao, “Load characteristics of a spark–ignited ethanol engine with DME enrichment”, *Applied Energy*, 112, ss. 500–506, 2013.
- [48] Seokhwan Lee, Seungmook Oh, Young Choi, “Performance and emission characteristics of an SI engine operated with DME blended LPG fuel”, *Fuel*, 88, ss. 1009–1015, 2009.
- [49] Seokhwan Lee, Seungmook Oh, Young Choi, Kernyong Kang, “Effect of n–Butane and propane on performance and emission characteristics of an SI engine operated with DME–blended LPG fuel”, *Fuel*, 90, ss. 1674–1680, 2011.
- [50] Riesta Anggarani, Maymuchar, Cahyo S. Wibowo, Reza Sukaraharja, “Performance and emission characteristics of dimethyl ether (DME) mixed liquefied gas for vehicle (LGV) as alternative fuel for spark ignition engine”, *Energy Procedia*, 65, ss. 274–281, 2015.

19. YÜZYIL GELENEKSEL TARAKLI EVLERİNDE RESTORASYON ÖNERİSİ: KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ KAPSAMINDA İBRAHİM KAYA EVİ ÖRNEĞİNİN İNCELENMESİ

Özlem ÖZKAN ÖNÜR^{1,a}

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
İstanbul, Türkiye
ozlem.onur@nisantasi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4110-4936

ÖZET

Sakarya ilinin Taraklı ilçesi, kültürel mirasımız açısından önemli bir yerleşim yeridir. İlçe, 19. yüzyıl Osmanlı sivil mimarisi örnekleriyle karakteristik özelliğini koruyarak günümüze kadar varlığını sürdürmüştür. Taraklı, geleneksel mimari miras örneklerini barındırması, yerel malzemelerden inşa edilen tarihi dokusu ve benzersiz kimliğiyle estetik bir değer taşımaktadır. Bu çalışmada, Osmanlı sivil mimarisinin özgün bir örneği olan İbrahim Kaya Evi'nde analiz ve tespit çalışmaları yapılmış, yapının korunmasına yönelik temel sorunlar belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. İbrahim Kaya Evi'nin rölöve, restorasyon ve restitüsyon projelerinin hazırlanması, gelecekteki restorasyon uygulamalarına bilimsel bir temel oluşturması ve rehberlik etmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Planlanan restorasyon çalışmalarının, yapının tarihi ve kültürel değerlerini koruyarak Taraklı'nın kültürel mirasının gelecek kuşaklara aktarılmasında ve korunmasında kritik bir rol oynayacağı öngörülmektedir. Bu sayede hem yerel toplumun kültürel kimliğinin güçlendirilmesi hem de bölgenin turistik potansiyelinin artırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel mimari, koruma, kültürel miras, restorasyon, Taraklı

ABSTRACT

The Taraklı district of Sakarya province is an important settlement in terms of our cultural heritage. The district has preserved its characteristic features with examples of 19th century Ottoman

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

Atıf (Citation): ÖNÜR, Ö.Ö., "19. Yüzyıl Geleneksel Taraklı Evlerinde Restorasyon Önerisi: Kültürel Mirasın Korunması ve Sürdürülebilirliği Kapsamında İbrahim Kaya Evi Örneğinin İncelenmesi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 7(1): 61-85, 2025.

Geliş (Received): 09/05/2025

Kabul (Accepted): 07/07/2025

Yayın (Published): 18/07/2025

civil architecture and has maintained its existence until today. Taraklı carries aesthetic value with its traditional architectural heritage examples, historical texture built from local materials, and unique identity. In this study, analysis and assessment work was carried out at the İbrahim Kaya House, which is an original example of Ottoman civil architecture, and the fundamental issues regarding the preservation of the structure were identified and evaluated. The preparation of survey, restoration, and restitution projects for the İbrahim Kaya House is of great importance in terms of providing a scientific foundation and guidance for future restoration applications. It is anticipated that the planned restoration works will play a critical role in transferring and preserving Taraklı's cultural heritage for future generations while protecting the historical and cultural values of the structure. Through this, it is aimed to both strengthen the cultural identity of the local community and increase the region's tourism potential.

Keywords: Traditional architecture, protection, cultural heritage, restorastion, Taraklı

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinde önemli bir yere sahip olan ve geçmiş dönem yaşantısını yansıtarak o dönemle ilgili bilgiler elde edilmesine imkân sağlayan geleneksel mimari, bir toplumun ve kültürün simgesel biçimleriyle oluşturularak farklı kültürlerin farklı yapı tarzlarını içermektedir. Bu yapıların korunması, bir topluluğun kültürel kimliğini ve tarihini yansıtır. Ayrıca, geçmişin yapı bilgisini gelecek kuşaklara aktarmada da önemli bir role sahiptir [1]. Kültürel miras, içerisinde o dönemin mimari özelliklerini, yapı malzemelerini ve toplumun sosyo-ekonomik yapısını barındıran bilgileri gelecek kuşaklara aktarmak amacıyla oluşturulmuştur [2]. Geçmiş bugüne getiren ve gelecek kuşaklara aktaran kültürel miras, kültürümüzün ve tarihimizin anlaşılması için toplum açısından büyük önem taşımaktadır.

Koruma kavramı, tarihi ve kültürel mirasın değerini anlama ve koruma çabasının bir parçası olan süregelen bir süreçtir. Günümüzde, korunmaya değer olduğu kabul edilen kültürel yapılar, mevcut durumları korunarak ya da yeniden işlevlendirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir [3]. Tarihi yapıların onarılması ve yeniden kullanılması hem bu yapıların yıkılmasını önler hem de çevresel açıdan topluma kazandırır [4]. Kültürel mirasın sürdürülebilirliği, doğru yöntemler kullanılarak en az müdahale ile sağlanır. Böylelikle, yapıların çevresel ve sosyal değeri korunup arttırılmış olur [5]. Tarihi yapıların onarımı ve yeniden kullanımı, yapıların yıkılmasını önler ve çevresel olarak topluma katkı sağlar [4]. Kültürel mirasın sürdürülebilirliği, doğru yöntemlerin

kullanılması ve en az müdahalesiyle sağlanır. Bu şekilde, yapıların çevresel ve sosyal değeri korunur ve artırılır [5].

Tarihi yapıların restorasyon projelerinin hazırlanması ve uygulanması, metodoloji takip edilerek yapılmaktadır. İlk olarak restorasyon öncesi eser hakkında kapsamlı bir araştırma ve belgeleme çalışmaları yapılır. Yapının mevcut durumu tespit edilir. Eserin tarihçesi araştırılarak geçirdiği dönüşümler, eski fotoğraflar yardımıyla ortaya çıkarılır. Mevcut veriler yardımıyla restitüsyon projeler hazırlanıp, yapılan tespitler ile yapının ihtiyaçları belirlenir [6]. Özgün konut işlevinin sürdürülebilmesi ve özgün mimari özelliklerinin korunarak uygulanabilecek bir şekilde tasarlanması, konutların orijinal özelliklerine göre örnek teşkil edecek çalışmaların yapılmasıyla mümkün olmaktadır [6]. Kültürel miras değeri taşıyan tarihi yapılarda uygulanan restorasyon çalışmaları, özgün bir biçimde çağın gereklerine cevap verecek şekilde ve mimari koruma disiplinine uygun olacak biçimde müdahalelerin yapılmasıyla mümkündür [7]. Anıtın beklenen ömrüne göre dayanıklı bir şekilde tasarlanan güçlendirme malzemelerinin herhangi bir şekilde bozulması, orijinal parçaların mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir [8]. Bu nedenle bağlayıcı olarak kullanılan malzemelerin orijinal malzemelere uyumlu ve dayanıklı olması için organik malzemelere yönelik analiz çalışmaları yapılmaktadır [9]. Yapının işlevine göre temizleme, sağlamlaştırma, bütünleme, yenileme ve yeni ekler yapılarak onarıma ilişkin öneriler getirilmektedir [10].

Farklı bir kullanıma yönelik düzenlenen tarihi mevcut yapılar, yeni yaşam şartlarına uyarlanarak koruma-kullanma dengesinin sağlanmasıyla dünyanın birçok yerinde sürdürülebilir bir gelişme politikası olarak görülmektedir [11]. Günümüzde değişen, aile yaşantısına ve mekânsal isteklere karşılık veremeyen konutlar yeniden işlevlendirilerek gelecek kuşaklara daha sağlıklı bir şekilde aktarılır [12]. Bu yapıların gelecek nesillere tarihi bir belge niteliğinde aktarılması için yapılacak projelendirme çalışmalarında, yapıların mevcut durumları ayrıntılı bir şekilde belgelendirilir. Rölöve çizimleri, fotoğraflar, hasar analizleri, malzeme analizleri ve dönem analizleri gibi unsurlar dikkate alınarak uluslararası tarihi, doğal ve kültürel varlıkları koruma normlarına uygun olacak şekilde yapıların işlevlerine göre müdahaleler yapılmaktadır [13].

Tarihi yapılarda kullanılan ahşap malzeme; tavan ve döşeme taşıyıcı sistemlerde, çekmeye karşı direnci nedeniyle hatıl duvarlarda ve saçak ve cumba olarak çıkmalarda kullanılmıştır [14]. Ahşap malzemelerin korunması için gerekli işlemler, teknik ve bilimsel koruma ile yenileme müdahaleleriyle belirlenir [15]. Hatalı restorasyonların önlenmesi amacıyla, analiz laboratuvarlarından alınan izinler ve toplanan belgeler kullanılarak, elde edilen sonuçlara göre restorasyon çalışmalarının yapılması önemlidir [16]. Yapıların restorasyon projeleri, yapısal ve

çevresel faktörler dikkate alınarak özgün işlevine uygun şekilde titizlikle hazırlanmaktadır. Geçmişten günümüze değişimler ve sosyo-ekonomik etkenler ile ortaya çıkan koruma sorunları, çalışma kapsamında ele alınmış ve yapıların yeniden işlevlendirilmesi konusunda önemli bir adım atılmıştır [17].

Tarihi yapıların restorasyonu ve yeniden işlevlendirilmesi, kültürel değerlerin korunması ve turistlere sunulması önemli somut kültürel unsurlardır [18]. Kültürel çekicilikleriyle ön plana çıkan bu yapıların yaşanabilir mekânlar olarak hizmet vermesi ve turizme kazandırılması, ülke ekonomisine de olumlu bir katkı sağlamaktadır [19]. Sürdürülebilirlik ilke ve politikaları ile geliştirilen kültür turizmi, yerel ve kültürel değerlerin küreselleşme karşısında yok olmasını engelleyici bir niteliğe sahip olması gerekir [20]. Kültürel içeriğin kuşaklar boyu aktarılıp işlevlendirdiği tarihi yapılar, toplumun kültürel tarihi ve yaşam biçimi açısından önemli bir belgedir. Geçmişle hissedilebilir bağlantı kurarak mimari kültürel kimlik aktarıcı rolüyle kültürel miras için sahne olmaktadır [21]. Kültürel ve tarihi miras yapılarının özgünlüklerine göre güncellenerek korunması, doğru onarım ve alan dokularının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Böylelikle iklim, peyzaja ve toplumsal hafızaya uyum sağlayarak bulunduğu yerin ruhunu yansıtmaktadır [22].

Bu bilgiler ışığında, birçok tarihi yapıya ev sahipliği yapan ve geleneksel mimarilerin varlığı ile Osmanlı yerleşim dokusunun nitelikli örneklerini sergileyen Sakarya iline bağlı Taraklı ilçesi, tarihi ve kültürel açıdan korunması gereken değerlere sahip bir yerleşim merkezidir. Kentsel sit alanı sınırları içerisinde yer alan tescilli ve sivil mimariye örnek teşkil eden İbrahim Kaya Evi, çalışma konusu olarak belirlenmiştir. Bu yapının değerlendirilmesi ve restorasyon önerilerinin ortaya konulması çalışmanın hedefleri arasında yerini almıştır.

1.1.Taraklı İlçesinin Fiziksel Yapısı

Marmara Bölgesi'nin Sakarya iline bağlı olan Taraklı ilçesi, Sakarya'ya 65 km uzaklıkta ve eski İstanbul-Ankara karayolu üzerinde, Göynük ve Geyve ilçeleri arasında yer almaktadır. Doğudan Göynük, kuzeyden Göl Pazarı, batıdan ise Geyve, Sapanca ve Pamukova ilçeleri ile çevrilidir.

Taraklı, dağlık bir arazi yapısına sahip olduğundan bu ilçede karasal iklim koşulları görülmektedir. Yaz ayları genellikle sıcak ve kurak, kış ayları ise kar yağışlıdır. Sonbahar ve ilkbahar mevsimleri, yağmurlu bir dönemi temsil eder. Zengin bir bitki örtüsüne sahip olan Taraklı'nın dağları, ormanlarla kaplıdır. Bu ormanlarda çam, meşe, gürgen, şimşir, köknar ve kayın gibi birçok ağaç türü bulunur. Düzlik alanlarda ise tarım ve meyve ürünleri yetiştirilir. Taraklı'nın geçim kaynakları arasında meyvecilik ve küçük esnafın oluşturduğu ticaret sektörü bulunur. Son yıllarda Taraklı'da

meyve bahçeleri, kavaklık ve enginar dikiminin yaygınlaşması, Taraklı'nın ekonomik getirisini artırmıştır [23]. Bu ekonomik faaliyetler, Taraklı'nın yerel halkına istihdam ve gelir sağlama imkânı sunar. İpek böcekçiliği, ahşap malzemelerle yapılan tarla aletleri, semercilik, kaşıkcılık ve tarakçılık gibi zanaatlar, ekonomide önemli bir yere sahiptir. Ayrıca, Taraklı'nın tarihi dokusu ve kültürel mirasları da bölgede önemli bir rol oynar. Doğal güzellikleri ve zengin bitki örtüsüyle turizm potansiyelini artıran bu bölge, turistlerin doğal ve tarihi zenginlikleri keşfetmelerini sağlamıştır. Böylece, Taraklı ekonomisi turizm sektörü tarafından da desteklenmektedir.

İstanbul-Ankara karayolu üzerinde yer alan Taraklı, Osmanlı Dönemi'nde stratejik bir konuma sahip olması nedeniyle ticaret açısından önemli bir geçiş noktasıydı. Ancak, Cumhuriyet Dönemi'nde teknolojinin gelişmesi bu yolun önemini azaltmış ve geleneksel üretimlerin gerilemesine neden olmuştur. Bu değişimler sonucunda, Taraklı halkı yeni geçim kaynaklarına yönelmek zorunda kalmıştır. Geleneksel zanaatlarından uzaklaşarak, modern sektörlere yönelmişlerdir. Ancak, bu dönüşüm süreci kentteki göçleri hızlandırmış ve geleneksel konut alanlarının bakımsızlığı nedeniyle hasar görmesine yol açmıştır. Bu durumda, terk edilen kültürel mirasların yeniden işlevlendirilmesi ve korunması önem kazanmaktadır. Bununla birlikte, Taraklı'nın tarihi dokusuna sahip yapıların belgelenmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması da büyük önem taşımaktadır. Bu yapılar, bölgenin özgün tarihini ve kültürel kimliğini yansıtmaktadır. Bu nedenle, Taraklı'ya ait kültürel mirasın korunması ve bu ilçenin kentsel yaşama kazandırılması için çalışmalar yapılmalıdır [24].

1.2. Taraklı İlçesinin Konut Mimarisi

Taraklı evleri, çevresel koşullara ve yerel malzeme olanaklarına bağlı olarak geleneksel bir yapım sistemi oluşturmuştur. Yapıların bölge içerisindeki konumu ve malzemelerin temin edilebilirliği gibi faktörler, yapım tekniğini büyük ölçüde etkilemiştir. Taraklı bölgesindeki yapılar, çeşitli yapım teknikleri ve malzeme kombinasyonları ile inşa edilmiştir. Bu yapılar, yerel ve doğal malzemelerin ustaca kullanımıyla oluşturulmuş olup, genellikle ahşap, taş ve kerpiç gibi malzemeler kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan yapı malzemeleri, bölgenin coğrafi ve iklimsel özelliklerini yansıtır ve aynı zamanda bu yapılar yerel mimari geleneğinin bir parçası olmasını sağlar. İlçedeki ormanlık alanların genişliği, yapı malzemeleri içinde ahşabın kullanımını artırmıştır. Ahşap, taşıyıcı sistemlerin çatı bağlantıları, duvarlar, zemin ve tavan döşemeleri, doğramalar, hatıllar, kirişler, dikmeler ve çatılar gibi çeşitli bölümlerde kullanılmıştır. Doğal görünümlü ve dayanıklı olan taş malzeme de yapıların zemine bağlantısının sağlanmasında, su ve nemin olduğu ortamlarda ve zemin kat duvarları için tercih edilmiştir. Toprak, saman ve su karışımından oluşan kerpiç malzeme ise yapıların ahşap çatkı arasında çatkı boyutlarına göre dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır.

Konutların zemin katları subasman yüksekliğince taş malzemeden yapılarak yığma yapım tekniği ile biçimlendirilmiştir. Üst katların da yapım tekniği ahşap karkas arası kerpiç dolgudur. Bölgede çatı örtüsü olarak ahşap taşıyıcı elemanlarla oluşturulan beşik çatı ve kırma çatı hakimdir. Taraklı bölgesinde yer alan yapılar, çeşitli ve benzersiz yapım tekniklerine sahip olup, dikkat çekici malzeme kombinasyonları ile inşa edilmiştir.

Plandaki evler çoğunlukla küçük aileler için tasarlanmıştır. Ancak, geniş aileler için tasarlanan ev tipleri, geleneksel iç sofalı plan özelliğine sahiptir. Bir aile genellikle bir konutu kullanır. Yaşam katı, evin konumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Zemin kat hizmet ve üretim faaliyetleri için ayrılan bölümdür. Giriş kapısı zemin katta bulunmaktadır. Bazı yapılarda ise giriş diğer katlarda yer almaktadır. Zemin katlarda ahır, samanlık, odunluk, ambar, kiler, ocak ve küçük boyutlu ahşap depolar bulunur. Bazı yapılarda ise banyo ve mutfak mevcuttur. Orta katların ‘esas yaşam katı’ olarak gündelik yaşamın geçirildiği, üst katlar da evli çocuklara ve konuklara aittir. Plan tipleri odaların, sofaların konumuna göre dış sofalı, orta sofalı ve iç sofalı olarak tasarlanmıştır. Çatı örtüsü olarak orta sofalı konutlarda kırma çatı, dış ve iç sofalı konutlarda beşik çatı hakimdir.

Taraklı mimarisinde cephe düzeninin oluşmasını etkileyen önemli bir eleman pencerelerdir. Bu elemanlar ve cephelerin varlığı, çıkmalarla birlikte çeşitli cephe düzenlerini oluşturmuştur. Odalardan, sofadan, eyvandan ya da odalardan ve sofalardan oluşan çıkmalar sofayı zenginleştirmek ve üst kat alanını arttırmak amacıyla yapılmıştır. Genellikle tüm cephelerde simetri görülmektedir. Bu bakımdan, yapılar genellikle çok sayıda eleman barındıran hareketli cephelere sahiptir. Hareketli cephelerde cumba, süslü ahşap, korkuluklar, kafes, konsol bulunur ve genellikle üç katlı büyük yapılarıdır. Az sayıda cephe üzerinde elemanı ve eklemeleri olan yapılar iki ve üç katlıdır. Düz (yalın) yapılar ise az sayıda elemanlara sahip iki katlı yapılarıdır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Taraklı, Yusuf Bey Mahallesi

Taraklı’nın merkezine en uzak olan ve en az yapı içeren Yusuf Bey mahallesi, Göynük Çayı’nın güneyinde yer almaktadır. Bu mahallede Yusuf Bey Camisi, sekiz adet kullanılabilir çeşme ve konutlar bulunmaktadır. Mahallenin merkeze olan uzaklığı nedeniyle ticaret ve eğitim yapıları mevcut değildir. Bunun yanı sıra, mahalleye ait sokaklar dar olduğu için araç trafiği zorlukla gerçekleştirilebilmektedir. Yusuf Bey mahallesindeki tek kagir yapı Yusuf Bey Camisi’dir. Yapının duvarları sıvalı ve boyalıdır. Çatı örtüsü ise kırma çatılı Marsilya kiremit ile kaplıdır. Diğer sivil mimari örnekleri kerpiç dolgulu ahşap çatı sistemde yapılmıştır. Yapılar iki katlı ve üç katlı olup,

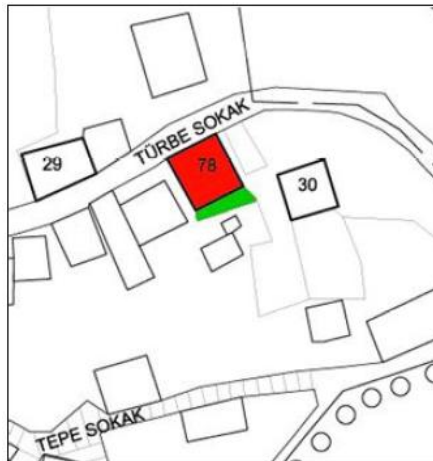
cepheler çamur sıva ya da ahşap kaplıdır, çatı örtü sistemleri ise bitişik nizamlarda beşik, ayrık nizamlarda kırma çatıdır. Ayrıca, yapıların cephe özellikleri payandalı, basit konsollu ve destekli çıkmalardır [24]. Yusuf Bey mahallesinin görünüşü Şekil 1’de verilmiştir [25].



Şekil 1. Yusuf Bey Mahallesi [26].

2.2. İbrahim Kaya Evi’nin Konumu ve Genel Özellikleri

Sakarya ilinin Taraklı ilçesinde, Yusuf Bey mahallesinde bulunan ve 7 no.lu pafta, 736 no.lu parselde yer alan İbrahim Kaya Evi, geleneksel bir sivil mimari örneğidir. Yapının inşa tarihi belirsiz olup, 23.03.1991 tarihinde tescillenmiştir. Bu yapı, bölgedeki diğer tescilli yapılarla benzer yapım tekniklerine sahiptir ve Geleneksel Türk Evlerinin karakteristik özelliklerini taşımaktadır. Toplam 126 m² zemin oturumuna ve 394 m²’lik bir alana sahip olan yapı zemin kat, birinci kat ve ikinci kattan oluşmaktadır. Yapının ana cephesi, Türbe Sokağına bakan cephedir ve yapıya giriş sokaktan sağlanmaktadır. Beşik çatısı alaturka kiremit ile örtülüdür. Taş temel üzeri ahşap karkas arası kerpiç dolgu tekniği ile inşa edilen yapının orijinal ve bugünkü işlevi konuttur. İbrahim Kaya Evi’nin konumu Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. İbrahim Kaya Evi’nin Konumu [27].

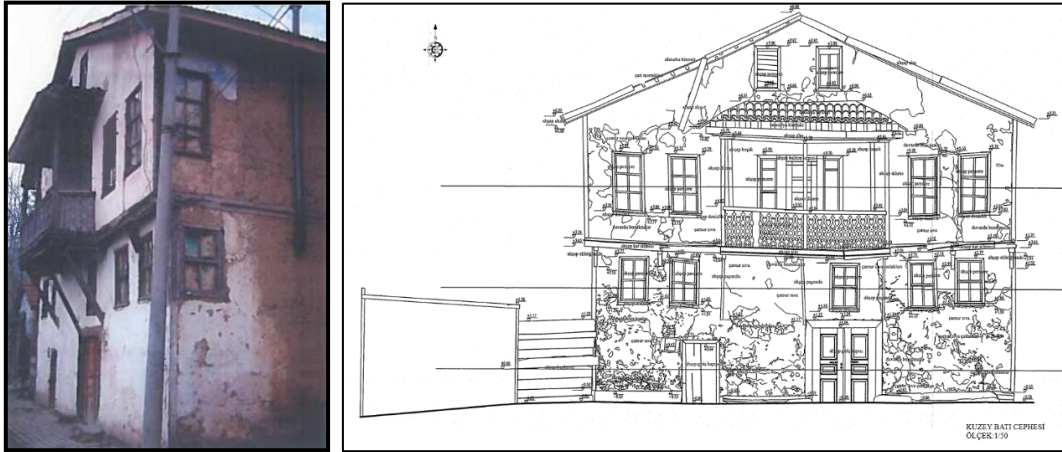
Geleneksel yapım tekniklerinden oluşan ve özgün yapısı ile Osmanlı mimarisine örnek teşkil eden İbrahim Kaya Evi, strüktür ve malzeme açısından ele alınıp incelenmiştir. Bu yapı yerinde çekilmiş fotoğrafları ve rölöve çalışmalarıyla desteklenmiş ve çalışmanın materyalini oluşturmuştur. Bölgenin mimari karakterini oluşturan özgün yerel malzeme ve yapım tekniklerine sahip yapının mevcut durum analizleri yapılarak rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri hazırlanmıştır. Bu çalışma, kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması için önemli bir adımdır.

3. BULGULAR

3.1. İbrahim Kaya Evi'nin Rölöve Çalışmaları

3.1.1. Cephe Özellikleri

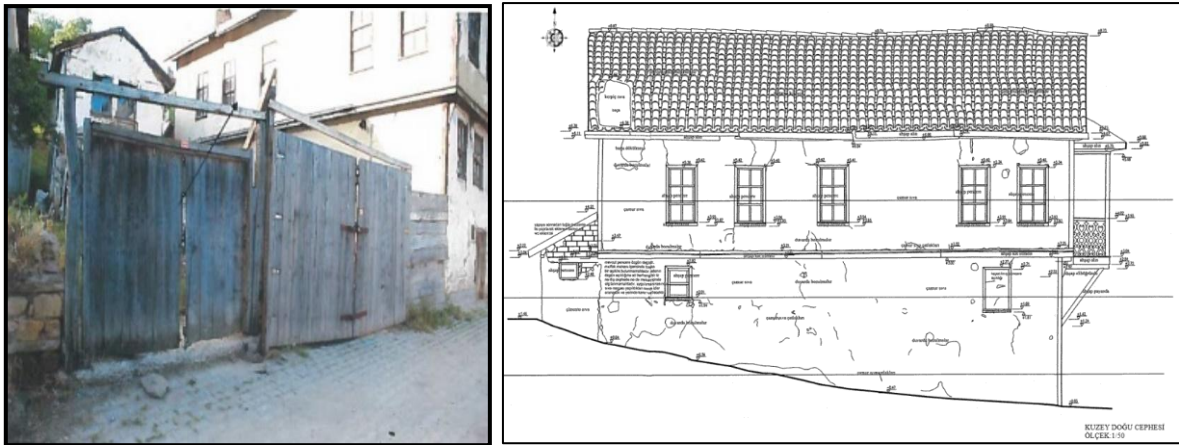
Yapının kuzey batı cephesi, Türbe sokak ile bağlantısını sağlayan giriş kapısının yer aldığı cephedir. Yapının girişi, çift kanatlı ahşap kapıdan sağlanmaktadır. Ana giriş kapısının solunda ikinci bir ahşap kapı ile bağlantılı depo bölümü, yapıyı çevreleyen bir de bahçe duvarı bulunmaktadır. Cephenin alt kotunda ahşap kaplama tahtaları ile kapatılmış küçük bir açıklık mevcuttur. Zemin kot hizasında herhangi bir açıklık bulunmamaktadır. Ancak birinci kat hizasının cephe üzerinde ise beş adet pencere açıklığı mevcuttur. 0,61x1,04 m boyutlarında olan bu pencerelerden biri kapının üzerinde yer alarak zemin kat giriş (Z01) bölümüne açılmaktadır. Yapının güney batı cephesinde yer alan iki adet ahşap pencere, birinci kat oda (107) mekânına, sağ tarafta yer alan iki adet ahşap pencere ise oda (106) mekânına aittir. Yapının birinci katında üç payanda ile desteklenen ahşap korkuluklu bir balkon bulunmaktadır. Bu balkon, üç dikmeye kadar uzanmaktadır. Pencereler dikdörtgen formludur. Yapının birinci kat hizasında cephe boyunca çıkma ve çıkma altında ahşap malzemeden yapılmış eli böğründeler, çıkma eteğinde de ahşap kuşak mevcuttur. Balkon çıkması cepheyi yaklaşık ortalamaktadır. Üç adet ahşap eli böğründeler balkonun altında yer almaktadır. Balkon saçağını da üç adet ahşap dikme taşımaktadır. Balkona ait ahşap korkuluklar motiflidir. Balkona giriş 0,75x2,02 m boyutlarındaki ahşap kapıyla sağlanmaktadır ve kapının her iki tarafında da ahşap pencereler mevcuttur. Balkonun kuzey doğu cephesi yönünde yer alan iki adet ahşap pencere oda (203) mekânına, balkonun güney batı cephesi yönünde yer alan iki adet ahşap pencere de oda (202) mekânına aittir. Balkonun ana çatıdan ayrı alaturka kiremit kaplı üç satırlı çatısı mevcuttur.



Şekil 3. İbrahim Kaya Evi'nin Rölöve Kuzey Batı Cephe Görünüşü [28].

Çatının uç kısmı Marsilya kiremit ile onarılmış, cephe duvarı mavi üzerine beyaz boya ile boyanmıştır. Şekil 3'te İbrahim Kaya Evi'nin kuzey batı cephesi ve rölöve görünüşleri verilmiştir.

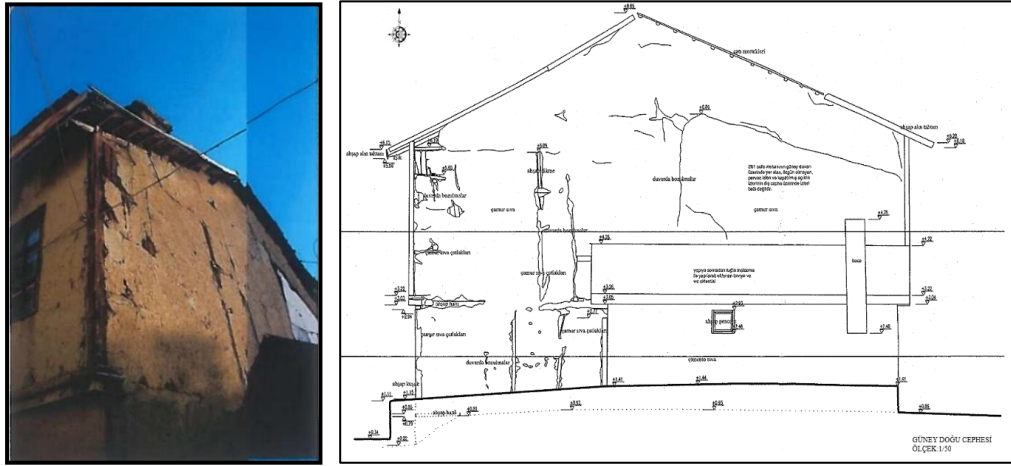
Yapının kuzey doğu cephesi, zemin katta yer alan depo (Z02), sofa (101), oda (105), oda (107), sofa (201), oda (203), oda (204), mekânlarını sınırlandıran cephedir. Birinci kat hizasında cephe boyunca çıkma, çıkmanın eteğinde de ahşap kuşak mevcuttur. Cephenin güney batı cephesi yönünde yığma tuğladan yapılan ıslak mekânların bulunduğu eklentinin üst örtüsü, tek satırlı çatıdır. Cephe üzerinin zemin kat hizasında herhangi bir açıklık bulunmamaktadır. Birinci kat hizasının kuzey batı cephesi yönünde kapatılmış bir pencere açıklığı, güneybatı cephesinin mutfak (105) bölümünde ise açıklık mevcuttur. Oda (107) mekânına ait olan açıklığın cepheden pervazları görünmektedir. Ancak bu açıklığın özgün olmadığı, iç mekânlardan anlaşılmaktadır. Özgün açıklık ise yapının kuzey doğu cephesinde yer almaktadır. Yapının ikinci katında yer alan sofa (201) mekânına ait oda (203), oda (204) mekânlarında ikişer pencere olmak üzere toplam beş adet ahşap pencere açıklığı bulunmaktadır.



Şekil 4. İbrahim Kaya Evi'nin Rölöve Kuzey Doğu Cephe Görünüşü [28].

Alaturka kiremit kaplı beşik çatının saçak ucunda ahşap alın tahtası, kuzey doğu cephesi yönünde baca yer almaktadır. Yapının kuzey doğu cephesinin ikinci katı beyaz boyalı, birinci katta ise boyasız alanlar bulunmaktadır. Şekil 4'te İbrahim Kaya Evi'nin kuzey doğu cephesi ve rölöve görünüşleri gösterilmiştir.

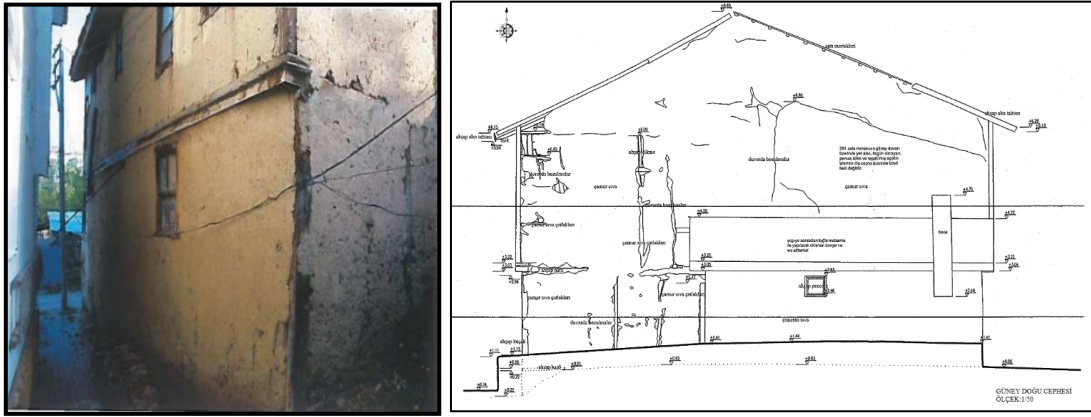
Yapının güney doğu cephesi, ıslak hacimlerinin bulunduğu ve eklentilerin olduğu cephe. Yığma tuğla ile yapılan eklenti tek katlıdır ve tek satırlı çatısı bulunmaktadır. Bu eklenti üzerinde 0,48 m genişliğinde pencere açıklığı mevcuttur. Pencere açıklığının dışında bu cephede başka bir açıklık bulunmamaktadır.



Şekil 5. İbrahim Kaya Evi'nin Güney Doğü Cephe Görünüşü [28].

Beşik çatıya ait kalkan duvarının bulunduğu güneydoğu cephesinin saçak ucunda ahşap alın, güneybatı yönünde ise baca bulunmaktadır. Güney doğu cephesinin bir kısmı beyaz boyalı, geri kalanı boyasız çamur sıvalıdır. Çamur sıvalar kısmen dökülmüştür. Şekil 5'te İbrahim Kaya Evi'nin güney doğu cephesi ve rölöve görünüşleri verilmiştir.

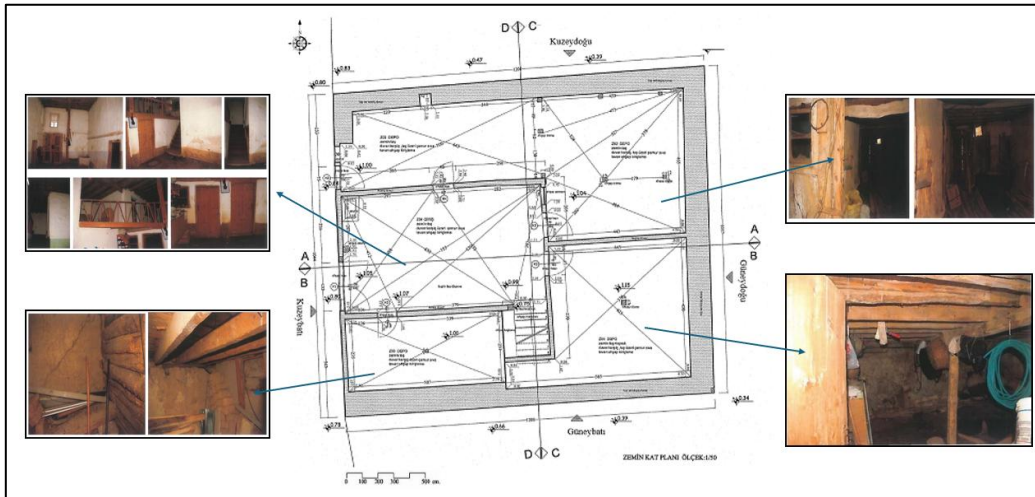
Yapının güney batı cephesi depo (Z03), depo (Z04), sofa (101), oda (106), sofa (201), oda (202), oda (205) mekânlarını sınırlandıran cephe. Zemin kat hizasına ait cephe üzerinde açıklık mevcut değildir. Ancak, birinci kat hizasında bulunan oda (106) ve sofa (101) mekânlara ait ikişer adet ahşap pencere açıklığı mevcuttur. Birinci ve ikinci kat arasında ahşap kuşak yer almaktadır. Güney batı cephesinde çıkma yoktur. Yapının ikinci kat hizasında sofa (201) ve oda (202) mekânlarına ait birer adet pencere, oda (205) mekânında ise iki adet ahşap pencere bulunmaktadır. Alaturka kiremit kaplı beşik çatının saçak ucunda ahşap alın tahtası mevcuttur. Yapının güney batı cephesinin beyaz renk olduğu boya kalıntılarından anlaşılmaktadır. Bu cephede boyalar kısmen dökülmüştür. Şekil 6'da İbrahim Kaya Evi'nin güney batı cephesi ve rölöve görünüşleri verilmiştir.



Şekil 6. İbrahim Kaya Evi'nin Güney Batı Cephe Görünüşü [28].

3.1.2. Plan Özellikleri

İbrahim Kaya Evi, geleneksel konut yapım sistemine göre orta sofalı plan özelliğindedir. Orta sofa 'karnıyarık sistem' olarak da adlandırılmaktadır. Orta sofalı plan, geleneksel Türk evlerinde sıkça rastlanmaktadır ve Taraklı yapıları genel olarak orta sofalı plan özelliğine göre tasarlanmıştır. Orta sofalı planda yaşama birimleri olan odalar arasındaki geçiş sağlanarak sofaya açılan odalar sayesinde sofa, soğuk kış şartlarına karşı korunaklıdır [25]. Yapıya ait zemin kat rölöve planı Şekil 7'de gösterilmiştir.

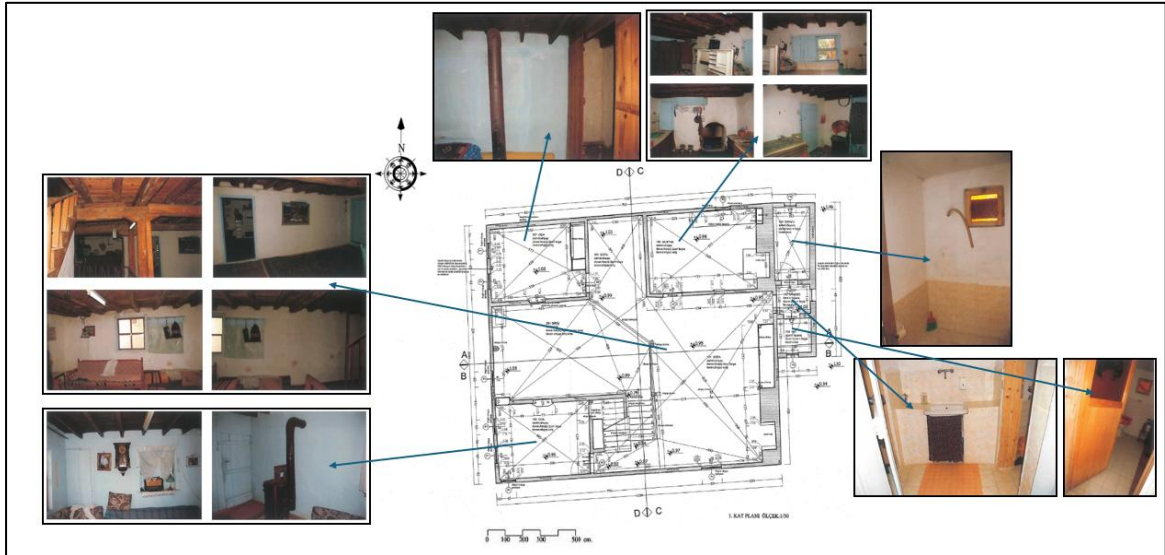


Şekil 7. İbrahim Kaya Evi'nin Zemin Kat Rölöve Planı [28].

Giriş (Z01), yapının kuzey batı cephesi yönünde bulunan bölümdür. Sokağa açılan çift kanatlı ahşap kapı bu bölümde yer almaktadır. Taşlık mekânının kotu, giriş kapısının kotundan bir basamak alt kotta olup dokuz basamaklı ahşap bir merdiven ile birinci kata çıkılmaktadır. Depo (Z02, Z03 ve Z04) amaçlı kullanılan mekânların geçişi, giriş (Z01) bölümünden sağlanır. Zemin kat duvarları kerpiç üzeri çamur sıva, tavan ahşap kaplama, yer döşemesi ise taş ve topraktır.

Odunluk amaçlı kullanılan deponun (Z02) üç giriş kapısı mevcuttur. Bu mekânın ilk giriş kapısı, sokağa açılan kuzey batı cephesi üzerindeki 0,75x1,50 m boyutlarındaki ahşap kapıdır. Kapının yanında 0,50 m genişliğinde bir adet pencere açıklığı yer almaktadır. Diğer iki kapı ise giriş (Z01) bölümünün içindedir. Giriş (Z01) bölümüne açılan kuzeydoğu yönündeki kapı 0,66 x 1,59 m, güneydoğu yönündeki kapı ise 0,66 x 1,62 m boyutlarındadır. Güney doğu yönünde yer alan ahşap kapı, depo (Z02) mekânına girişi sağlamaktadır. Bu kapının yanında 0,55 m genişliğinde ahşap bir pencere açıklığı bulunmaktadır. Yapının depo (Z03) ve depo (Z04) mekânlarına geçiş, giriş (Z01) bölümünde yer alan ahşap kapılardan sağlanmaktadır.

İbrahim Kaya Evi'nin birinci katında sofa, ıslak mekânlar (banyo+wc+lavabo) ve iki adet oda yer almaktadır. Şekil 8'de gösterildiği üzere yapının birinci kat rölöve planı verilmiştir.



Şekil 8. İbrahim Kaya Evi'nin Birinci Kat Rölöve Planı [28].

Yapının birinci katında yer alan sofa (101) mekânına giriş (Z01) bölümünden dokuz basamaklı merdiven ile çıkılmaktadır. Merdivenin alttan ilk basamağı taş, diğer basamakları ise ahşap malzemeden yapılmıştır. Birinci katta yer alan tüm mekânların giriş kapıları sofa (101) mekânına açılmaktadır. Sofa (101) mekânı, kuzey batı yönünde ahşap korkuluklar ile çevrelenmiştir. Sofa (101) mekânının içinde yer alan on bir basamaklı ahşap merdiven ile ikinci kata ulaşılmaktadır. Yapının güney doğu yönüne eklenen ıslak mekânların geçişi de bu mekândan sağlanmaktadır. Sofa (101) mekânının içerisinde ahşap dikmeler, güney doğu duvarında ahşap dolap ve ocak nişi mevcuttur. Güney batı yönündeki 0,82x1m boyutlarındaki ahşap pencere açıklığı dar sokağa açılmaktadır. Birinci katta yer alan sofa (101), mutfak (105), oda (106)-107 mekânlarının duvarları beyaz boyalı, tavan kaplamaları ahşap kirişli, yer döşemeleri de ahşap kaplamadır.

Yapının lavabo (102) bölümü, sofa (101) mekânında yer alır ve ahşap kapıdan geçişi sağlanmaktadır. Bu bölüm yapıya sonradan eklenen bir kısımdır. Lavabo (102) bölümünün geçişini sağlayan kapı, yapının beden duvarı üzerine sonradan açılmıştır. Giriş kapısının güney batısında yer alan ahşap kapıdan wc (103), kuzey doğusundaki ahşap kapıdan ise banyo (104) bölümüne geçiş yapılmaktadır. Her iki kapı da yaklaşık 0,68x1,88 m boyutlarındadır. Lavabo (102) bölümünün güney doğu duvarı üzerinde bir adet pencere açıklığı yer almaktadır. Duvarlar tuğla üzeri çimento sıva, duvarların alt kısımları fayans, üst kısımları ise beyaz boyalıdır. Lavabo (102) bölümünün tavanı sıva üzeri beyaz boya, yer döşemesi de seramik kaplamadır.

Yapının banyo (103) ve wc (104) mekânlarına geçiş, lavabo (102) bölümünde yer alan ahşap kapıdan sağlanmaktadır. Banyo (103) mekânının kuzey batı yönünde yer alan duvar, yapının ana beden duvarıdır. Duvarlar tuğla üzeri çimento sıva, alt kısımlar fayans, üst kısımlar ise beyaz boya yapılmıştır. Tavan sıva üzeri beyaz boya, yer döşemesi de seramik kaplamadır. Banyo (103) ve wc (104) mekânlarının duvarlarında yaklaşık 0,5 m genişliğinde birer ahşap pencere açıklığı bulunmaktadır. Kuzey batı yönünde yer alan duvar yapının ana beden duvarıdır. Kuzey doğu, güney doğu ve güney batı duvarları tuğla olup üzeri çimento sıva, alt kısımlar fayans, üst kısımlara ise beyaz boyadır. Tavan sıva üzeri beyaz boya, yer döşemesi de seramik kaplamadır.

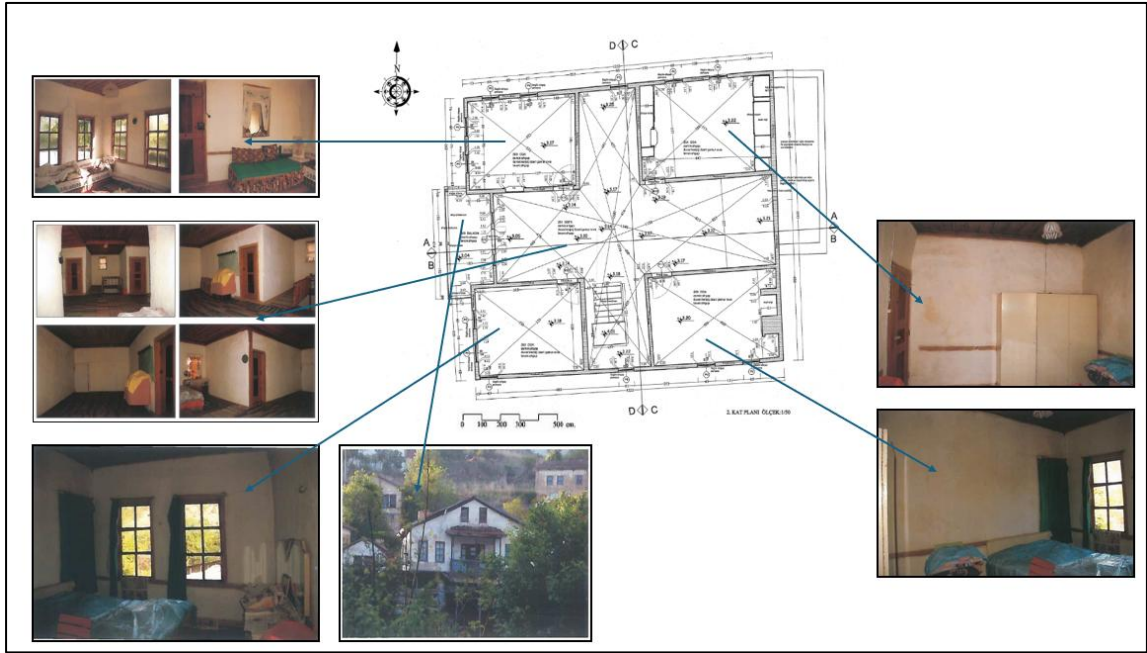
Yapının mutfak (105) mekânına geçiş, sofa (101) mekânında yer alan ahşap kapıdan sağlanmaktadır. Mutfak (105) mekânının giriş kapısı güney batı duvarı üzerindedir. Aynı duvar üzerinde sofa (101) mekânına açılan 0,45 m genişliğinde açıklıklar mevcuttur. Bu mekânın kuzey doğu cephesinde özgün olmayan 0,56x0,74 m boyutlarında ahşap pencere açıklığı bulunmaktadır. Ayrıca kapatılmış özgün pencereye ait izler de mevcuttur. Kuzey batı yönünde yer alan duvar üzerinde ise açıklık mevcut değildir. Ancak bu duvar yüzeyinde ocak ve dolap nişi yer almaktadır.

Yapının sofa (101) mekânında iki adet oda yer almaktadır. Oda (106) mekânına geçiş 0,76x1,78 m boyutlarındaki ahşap kapıdan sağlanmaktadır. Oda (106) mekânının kuzey batı cephesine açılan üç adet ahşap pencere bulunmaktadır. Pencere doğramaları özgündür. Bu mekânın giriş kapısının yanında merdiven altına açılan ahşap bir kapak, kuzey batı cephesine ait duvarın üzerinde de ahşap bir dolap yer almaktadır. Dolabın derinliği duvar kalınlığından fazladır ve duvar dışına çıkma şeklinde yapılmıştır.

Yapının 2,94x3,98 m ölçülerindeki oda (107) mekânına geçiş, sofa (101) bölümünden ahşap kapıyla sağlanmaktadır. Bu kapının yanında 1,91 m uzunluğunda ve 0,60 m derinliğinde ahşap bir dolap mevcuttur. Ahşap dolabın görünüşü Şekil 22’de verilmiştir. Oda (107) mekânının kuzey batı cephesi yönünde iki adet özgün ahşap pencere, kuzey doğu cephesinin yönünde de kapatılmış ahşap

pencere bulunmaktadır. Oda (107) mekânının duvarı üzerinde yer alan 0,19 m derinliğindeki niş, pencere açıklığı kapatılarak oluşturulmuştur. Kuzey batı cephesi yönünde yer alan iki adet ahşap pencerenin ortasındaki ahşap dikme, yapıdaki oturma sorunlarından ötürü odanın içine doğru patlamış durumdadır. Yapıda oluşan en ciddi strüktürel sorun da bu bölümdedir.

Yapının ikinci katında sofa, dört adet oda ve bir balkon yer almaktadır. İkinci kat röleve planı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. İbrahim Kaya Evi'nin İkinci Kat Röleve Planı [28].

Sofa (201) mekânına, birinci katta yer alan sofa (101) mekânından on bir basamaklı ahşap merdiven ile çıkış sağlanır. Bu katta yer alan tüm mekânlara bu sofadan giriş sağlanmaktadır. Orta sofalı plan özelliğine sahip mekânın dört köşesinde odalar (202, 203, 204 ve 205) yer almaktadır. Yapının kuzey batı cephesinde yer alan balkonun girişi de bu bölümdedir. Balkon (206) bölümüne geçiş 0,75x2,02 m boyutlarındaki ahşap kapıdan sağlanmaktadır. Ayrıca balkon kapısının her iki tarafında ikişer adet ahşap pencere bulunmaktadır. Yapının güney batı ve kuzey doğu cephelerinde, ahşap merdivenlerin bulunduğu bölümlerde birer adet pencere açıklığı yer almaktadır. Sofa (201) mekânının güney doğu cephesi duvarı üzerinde kapatılmış bir kapı izi, zemininde ise oturmalar mevcuttur. Duvarlar kerpiç üzeri çamur sıva olup beyaz renk boya ile boyanmıştır. Yer döşemesi ahşap kaplamadır.

İbrahim Kaya Evi'nin ikinci katında yer alan sofa (201) ve odaların (202, 203, 204, 205) duvarları boyalıdır. Sofa (201) mekânının tavanı çatalı ahşap kaplama olup, ortasında motif bulunmaktadır. Şekil 10'da sofa (201) mekânına ait tavan kaplamasının görünüşü verilmiştir.



Şekil 10. İbrahim Kaya Evi'nin Sofa (201) Mekânının Tavan Görünüşü [28].

Yapının oda (202) mekânına geçiş, sofa (201) bölümünden ahşap bir kapıyla sağlanmaktadır. Bu mekânın kuzey batı ve güney batı duvarları üzerinde birer adet ahşap pencere açıklığı yer almaktadır. Ayrıca kuzey doğu cephesine ait duvar üzerinde de sofaya açılan oda (202) kapısı bulunmaktadır. Tavan kaplaması motifli çıtalı ahşap ve yer döşemesi ahşap kaplamadır.

Yapının oda (203) mekânına geçiş, sofa (201) bölümünden ahşap bir kapıyla sağlanmaktadır. Bu mekânın kuzey batı ve kuzey doğu cepheleri yönünde ikişer adet ahşap pencere açıklıkları mevcuttur. Pencereilerin alt kotunda bulunan ahşap kuşak, bütün duvarlarda devam etmektedir. Güney doğu cephesi yönünde yer alan duvar üzerinde herhangi bir açıklık bulunmamaktadır. Güney batı cephesi yönünde de sofa (201) mekânına açılan odanın giriş kapısı yer almaktadır. Tavan kaplaması çıtalı ahşap, duvar birleşimi eğimli ve yer döşemesi de ahşap kaplamadır.

Yapının oda (204) mekânına geçiş, sofa (201) bölümünden ahşap bir kapıyla sağlanmaktadır. Oda (204) mekânının kuzey doğu cephesi yönünde iki adet ahşap pencere açıklığı, güney batı cephesi yönünde ise bu mekânın giriş kapısı bulunmaktadır. Güney doğu cephesi yönünde ahşap kapak ile kapatılmış ocak nişi ve ocak nişinin iki yanında da ahşap dolap nişi yer almaktadır. Kuzey batı cephesi yönünde 0,53 m derinliğinde ve 2,70 m uzunluğunda bir adet ahşap dolap mevcuttur.

Yapının oda (205) mekânına geçiş, sofa (201) bölümünden ahşap bir kapıyla sağlanmaktadır. Yapının güney batı cephesi yönünde iki adet ahşap pencere açıklığı, kuzey doğu cephesi yönünde bu odanın giriş kapısı yer almaktadır. Kuzey batı cephesi yönünde herhangi bir açıklık mevcut değildir. Güney doğu cephesi yönünde ocak nişi ve ocak nişinin her iki yanında da nişler bulunmaktadır. Ancak bu nişlerin önünde oda (204) mekânında olduğu gibi kapak mevcut değildir.

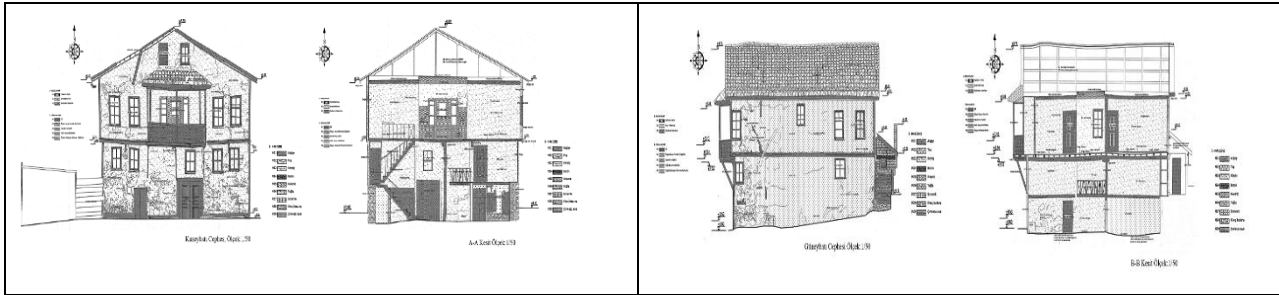
Yapının 1,66x4,10 m ölçülerindeki balkon (206) bölümünün geçişi, sofa (201) bölümünden kuzeybatı cephesi yönüne açılan ahşap bir kapı ile sağlanmaktadır. Balkon kapısının her iki yanında iki adet ahşap pencere açıklığı bulunmaktadır. Sofa (201) bölümüne bakan kapı ve pencerelerin yer aldığı bu duvarın iç tarafı belli bir kotaya kadar ahşap malzeme ile kaplanmıştı. Balkonun dış

cephelerinde ise saçağı taşıyan üç adet ahşap dikme mevcuttur. Balkon duvarları boyalı, korkuluklar, tavan ve yer döşemesi ahşaptır.

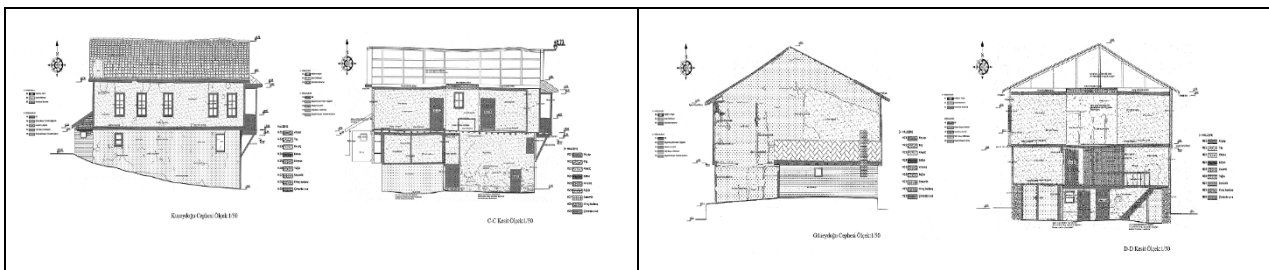
3.2. İbrahim Kaya Evi'nin Hasar Tespit Çalışmaları

Yapılan gözlemlerle hasar tespit çalışmaları gerçekleştirilerek yapının cephe, plan, üst örtü ve strüktürel özellikleri incelenip rölövesi alınmıştır. Güney doğu cephesi üzerinde ve ıslak mekânların tamamında eklemelerin olması, kapatılmış pencere açıklıklarının bulunması, yapıda mekânsal bozulmalara neden olmuştur. Beden duvarlarına ait sıvaların ve boyaların çoğunluğu dökülmüştür. Yapıya ait çatıda, kuşaklarda ve alınlarda malzeme kayıpları mevcuttur. Yapı strüktürel açıdan incelendiğinde, kerpiç yığma ve ahşap karkas arası kerpiç dolgu tekniği ile yapılan yapının alt katında hasarlı bölümler bulunmaktadır. Yapının birinci katında yer alan oda (107) mekânının iki pencere arasındaki dikmenin kötü durumda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapıda ortaya doğru (iki yönde) eğim meydana gelmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, aslına uygun olmayan eklemeler ve özgün olmayan malzeme kullanımından dolayı yapının özgün dokusunda bozulmalar ortaya çıkarılmıştır. Yapının cephe duvarlarının sıvasında ve boyasında dökülmeler, ahşap balkon, pencere ve kapılarda mekanik ve atmosferik nedenlere bağlı olarak renk değişimi, korozyon gibi çeşitli bozulmalar mevcuttur. İbrahim Kaya Evi'nin analiz çalışmaları yapılarak Şekil 11'de kuzey batı ve güneybatı cepheleri, Şekil 12'de kuzey doğu ve güney doğu cephelerinin görünüşleri ve kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 11. İbrahim Kaya Evi'nin Kuzey Batı ve Güney Batı Cephelerinin Analiz Çalışmaları [28].

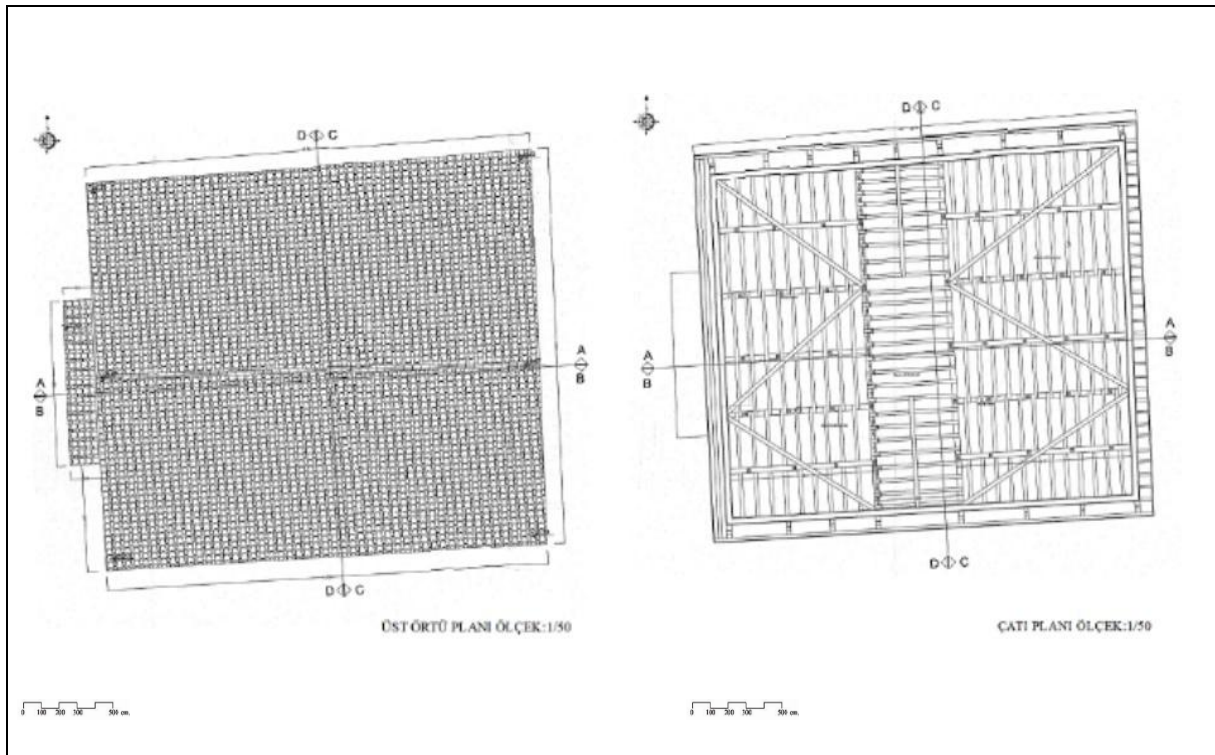


Şekil 12. İbrahim Kaya Evi'nin Kuzey Doğu ve Güney Doğu Cephelerinin Analiz Çalışmaları [28].

Yapının fotoğraf çekimleri ve rölöve çalışmaları doğrultusunda, gerekli müdahalelerin yapılması için güçlendirme çalışmaları ve özgün malzeme kullanımı ile restitüsyon projeleri hedef alınarak restorasyon uygulamasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

3.3.İbrahim Kaya Evi'nin Restitüsyon ve Restorasyon Önerileri

Restorasyon uygulamasında yapının mevcut çatısı indirilip, iyi durumda olan ahşaplar emprenye edilerek tekrar kullanılabilir. Kötü durumda olan ahşap malzemeler yenilenerek çatı konstrüksiyonu onarılabılır. Üst örtü, kiremit ile kaplanabilir ve bacalar da yeniden yapılabilir. Şekil 13'te üst örtü ve çatı planı verilmiştir.



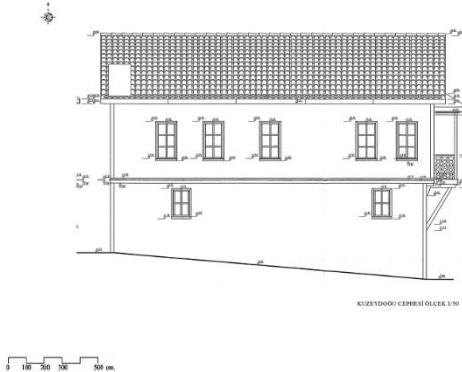
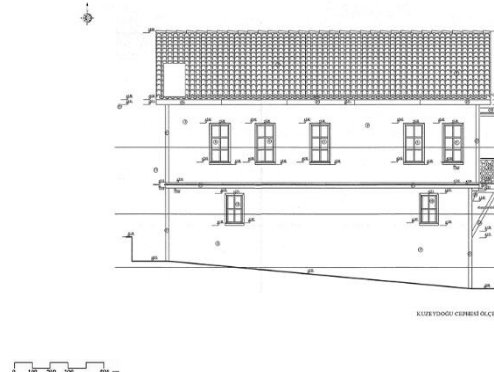
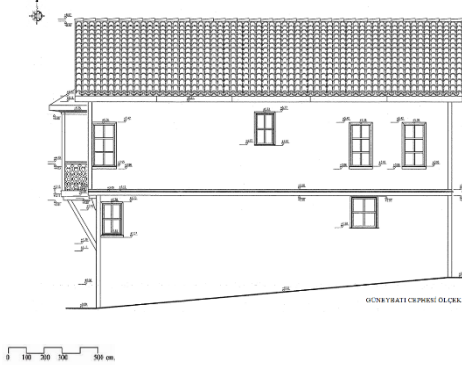
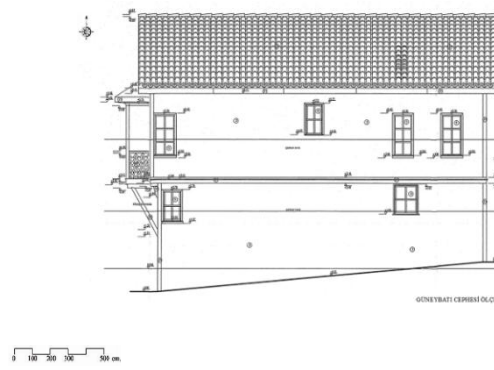
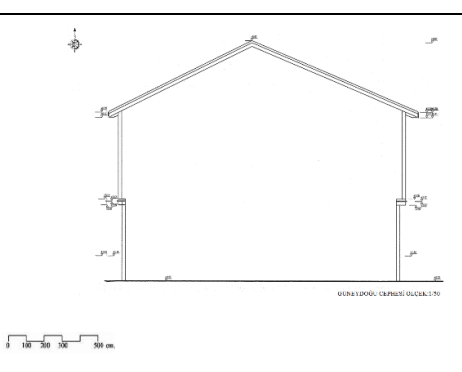
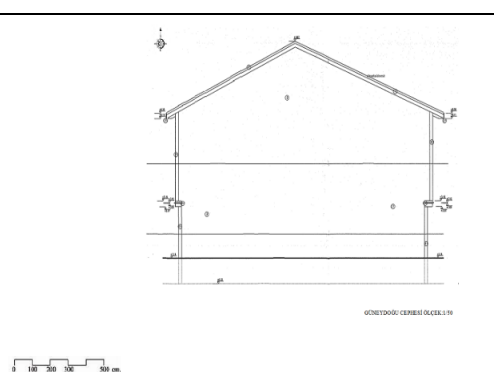
Şekil 13. İbrahim Kaya Evi'nin Üst Örtü ve Çatı Planı [28].

Bozulmuş veya sonradan eklenmiş aslına uygun olmayan elemanlar, restitüsyon projeleri dikkate alınarak özgün malzemeye uygun şekilde değiştirilebilir. Cephelere ait restitüsyon çalışmasında, yapının asıl cephelerini oluşturan özgün kapı ve pencereler aslına uygun olarak onarılabılır. Restorasyon uygulamasında duvar dolguları, mevcut malzeme ile aynı içerikte hazırlanabilir. Cepheler, kerpiç dolgu üzeri kireç sıva olarak aslına uygun şekilde yenilenebilir. İyi durumda olan elemanlar için temizleme çalışmaları ile yerinde bakım yapılabilir. Analiz ve tespit çalışmaları göz önünde bulundurularak, orta hasarlı olan ahşap pencerelerin özgünlüğü bozulmadan yerinde bakımı ve onarımı yapılabilir. Özgün olmayan yapı elemanları, restitüsyon projeleri doğrultusunda özgün malzemeye uygun olacak şekilde değiştirilebilir. Binanın tüm sıvası raspa

edilerek, strüktür kontrol edilip, strüktür ile ilgili kararlar raspalama işleminden sonra verilebilir. İyi durumda olan ahşap elemanlar empenye edilip, ahşap dikmeler temizlenip ilaçlanabilir. Yapının güneydoğu cephesinde yer alan ıslak hacim eklentisi kaldırılarak, kapatılmış pencere açıklıkları özgün haline dönüştürülebilir. Giriş (Z01) bölümünde yer alan özgün taş döşeme temizlenerek korunabilir. Özgün ahşap tavan ve zemin kaplamaları, ahşap kapı ve pencere doğramalarının temizliği yapılarak, kötü durumda olan ahşap yapı elemanları detayına uygun olarak 1. sınıf malzeme ile yenilenebilir. Mutfak (Z02) mekânı içine projedeki detayına göre ahşap mutfak tezgâhı yapılabilir. Bu mekânın ve kiler bölümünün zemini traverten kaplanarak, duvarlar kireç sıva ile sıvanabilir. Dışarıdan ayrı bir kapı ile geçilen depo (Z06 ve Z07) mekânları kömürlük olarak kullanılmaktadır. Bu bölümlerin özgün döşemeleri korunup, söndürülmüş kireç ile duvarlar sıvanabilir. Sofa (101) mekânında bulunan merdiven altındaki ahşap kaplama tahtası ve ahşap kapı ile dolap haline getirilen bölüm özgün olmadığından dolayı bu ahşap kaplama tahtaları ve ahşap kapı kaldırılabilir. Bu mekânda bulunan merdiven altındaki kapatılmış pencere (P2) açıklığı tekrar açılarak özgün hale getirilebilir. Oda (103) mekânında yer alan dolaplar, yapıya sonradan eklenti yapılarak oluşturulmuştur. Bu eklenti dolaplar kaldırılabilir. Ahşap balkon korkuluklarının eksik parçaları korkuluk detayına uygun olarak yapıp mevcut korkuluklar onararak korunabilir. Ahşap döşeme kirişleri ilaçlanıp, kötü durumda olanlar yenilenebilir. Yapının ıslak hacimleri, yapıya eklenti gibi görünse de kesin bir yargıya varılamamıştır. Ancak eklenti olsa dahi dönem eki niteliğinde korunması önerilebilir. Islak hacimlerin ahşap kaplamaları onarılıp, gerekli görülenler yenilenebilir. Islak hacimlerin tavaları korunup, zeminleri de traverten taş ile kaplanabilir. Oda (205) mekânında yer alan kapatılmış pencere açıklığı açılıp, özgün doğrama detayına uygun olarak birinci sınıf malzeme ile ahşap doğrama yapılabilir. Tüm ahşap döşemeler ve süpürgelikler yenilenip ahşap merdivenler de onarılıp korunabilir. Merdiven trabzanlarının eksik parçaları detayına uygun olarak tamamlanabilir. Tüm ahşap dolaplar elden geçirilerek onarılıp korunabilir. Gerekli görülen parçalar ise dolap detayına uygun olarak düzenlenebilir. Ahşap silmeler, alınlıklar, tavan kaplamaları elden geçirilerek ilaçlanıp korunabilir, kötü durumda olanlar ise yenilenebilir. Yapının etrafına drenaj sistemi, ısınma ve elektrik tesisatı da döşeme arasında geçirilebilir. Ahşap payandalar onarılarak ilaçlanıp korunabilir, gerekli görülenler de yenilenebilir. Uygulamada 1/3 oranında söndürülmüş kireç (en az 6 ay dinlendirilmiş), taş tozu, kum ve keten karışımından oluşmuş harç ve sıva kullanılıp, duvar yüzeyi de su bazlı su boya ile boyanabilir. Bu öneriler doğrultusunda, İbrahim Kaya Evi'nin plan ve cephe görünüşleri hakkında bilgi sağlamak için Şekil 14'te kat planları, Şekil 15'te cephe görünüşlerinin restitüsyon-restorasyon durumunu gösteren çizimler verilmiştir.



Şekil 14. İbrahim Kaya Evi'nin Restitüsyon Restorasyon Çizelgesi [28].

	RESTİTÜSYON CEPHE GÖRÜNÜŞÜ	RESTORASYON CEPHE GÖRÜNÜŞÜ
KUZEY BATI CEPHESİ		
KUZEY DOĞU CEPHESİ		
GÜNEY BATI CEPHESİ		
GÜNEY DOĞU CEPHESİ		

Şekil 15. İbrahim Kaya Evi'nin Restitüsyon Restorasyon Çizelgesi [28].

4. SONUÇ

Geleneksel Osmanlı yerleşim dokusunun nitelikli örneklerini sergileyen ve büyük çoğunluğunun günümüze kadar varlığını sürdürdüğü Taraklı, Türkiye'nin önemli yerleşimlerinden biridir. Taraklı bölgesi, 1992 yılından beri Koruma Amaçlı İmar kapsamında kentsel sit alanı sınırları içerisinde yer almaktadır [29]. Bu bölge, tarih boyunca birçok önemli uygarlığa ev sahipliği yapmıştır ve bu bilgiler, yazılı kaynaklar ve yapılan araştırmalarla desteklenmektedir. Ayrıca, 19. yüzyılda inşa edilmiş birçok sivil mimari örneğini bünyesinde bulunduran Taraklı'nın potansiyeli uzun süre göz ardı edilmiştir. Ancak, bu araştırma Taraklı'nın köklü geçmişi, geleneksel dokusu ve niteliklerini koruması nedeniyle bu konuya odaklanmıştır. Araştırma, Taraklı hakkında genel tanıtıcı bilgiler sunmasının ardından, İbrahim Kaya Evi'nin detaylı bir değerlendirmesini içermektedir. Bu evin rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri hazırlanmış ve ilgili fotoğraflarla desteklenerek Kocaeli Kültür Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 14/12/2011 tarihli 153 sayılı kararıyla onaylanmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan yapının mekânsal, malzeme ve strüktürel özellikleri incelenmiştir. Yapının güneydoğu cephesinde ve tüm ıslak alanlarda eklemelerin ve kapatılmış pencere açıklıklarının bulunması, mekânsal bozulmalara neden olmuştur. Ayrıca, yapının beden duvarlarındaki sıva ve boyaların büyük çoğunluğu dökülmüş, çatıdaki kuşaklar ve alınlarda malzeme kayıpları meydana gelmiştir. Strüktürel açıdan incelenen yapı, kerpiç yığma ve ahşap karkas arası kerpiç dolgu tekniği ile inşa edilmiş ve alt katında hasarlı bölgeler tespit edilmiştir. Oda (107) mekânında iki pencere arasındaki dikme kötü durumdadır, bu da yapının ortasında her iki yönünde eğim oluşmasına neden olmuştur. Çalışmalar sonucunda, aslına uygun olmayan eklemeler, özgün olmayan malzeme kullanımı ve yapının özgün dokusundaki bozulmalar, cephe duvarlarının sıvası ve boyasındaki dökülmeler, ahşap balkon, pencere ve kapılarda mekanik ve atmosferik nedenlerle renk değişimi ve korozyon gibi çeşitli bozulmalar tespit edilmiştir. Osmanlı mimarisi ve kültürünün önemli bir parçası olan İbrahim Kaya Evi'nin orijinal mimari özelliklerinin korunması ve restorasyonun sürdürülebilir olması için uygulama aşaması dikkatlice planlanabilir. Ayrıca, restorasyon sürecinde kullanılan malzemelerin kalitesi ve çevresel etkilere dikkat edilerek sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenebilir. Restorasyon projesi tamamlanan bu yapı, uygun bir işletme planı geliştirilip uygulanarak turistik bir mekâna dönüştürülebilir. Osmanlı mimarisinin özelliklerini sergileyen ve turizm ile kültür faaliyetlerine ev sahipliği yapabilecek bir alan olabilir. Hem tarihi mirasın korunmasına katkı sağlar, hem de ekonomik fayda getirebilir.

Bu çalışma, Taraklı ilçesindeki tarihi ve geleneksel yapıların korunması ve restorasyonu konusunda, bölge sakinlerinin bilincini ve bilgi seviyesini artırmayı hedefleyerek yerel halkın tarihi yapıların değerini anlaması, koruma tekniklerini öğrenmesi ve restorasyon süreçlerine aktif katılımının sağlanmasını amaçlamaktadır. Bu sayede, geleneksel mimarinin özgün karakterinin gelecek nesillere aktarılması mümkün olacaktır. Ancak, bu çalışmanın kapsamı sadece Taraklı ile sınırlı kalmamalıdır. Geleneksel mimariye sahip diğer bölgelerde yaşayan insanlar da dikkate alınarak, koruma bilincinin artırılması ve doğru restorasyon uygulamalarının benimsenmesine yönelik geniş çaplı bir teşvik oluşturulması hedeflenmektedir. Böylece, ülkemizin tarihi ve kültürel mirasının korunması konusunda önemli bir adım daha atılması amaçlanmaktadır. Bu sadece fiziksel yapıların korunmasını değil, aynı zamanda geleneksel yaşam biçimlerinin, el sanatlarının ve yerel kültürün de yaşatılmasını sağlayacak bütüncül bir yaklaşımı benimsemelidir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Kocaeli Kültür Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 14/12/2011 tarihli 153 sayılı kararıyla onaylanmıştır. Proje grubunda yer alan Mimar Funda Didem AYDOĞAN ve Taraklı Belediyesi Fen İşleri Müdürü Şahin AKI'ya katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- [1] Ahunbay Z., 1998. Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon, Yapı Yayın.
- [2] ICOMOS, Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi, 2013.
- [3] Yusoff Omar, Norhayati Ishak, “Preventive Maintenance Management: An Approach Towards A Sustainability Of Adaptive Re-Use Historical Buildings in Kuala Lumpur, Malaysia”, International Engineering Convention, Damascus, Syria, ss. 368-375. 2009.
- [4] Emine Yıldız, Nedret Gül Asatekin, “Anıtsal Yapıların Kullanım Sürecinde Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi”, METU Journal of the Faculty of Architecture, 33, 2016.

- [5] Burcu Ünlü, Reyhan Ünver, İşlevi Değişen Yapılarda Aydınlatma- Myrelaion Sarnıcı, 1. Mimarlık ve Şehircilik Lisansüstü Sempozyumu, YTÜ Mimarlık Fakültesi, 54, 2019.
- [6] Fatma Köse, Aysel Ertuğrul, “Hüsrev Kethüda Darülkurra Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projesi”, Restorasyon ve Konservasyon Dergisi, 2, ss. 32-49, 2009.
- [7] İsmail Acar Ata, Murat Emrah Başar, Cemil Tazefidan, Murat Şenalp, “Ankara Beypazarı’nda Geleneksel Evlerin Koruma Çalışmalarına Bir Örnek: Evi Restorasyon Projesi”, Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed and Refereed, 10, ss. 28-57, 2023.
- [8] Sibel Tellioğlu, Beyhan Satıcı, “Tarihi Yapılarda Restorasyon Tekniklerine Göre Uygulanacak Malzemelerin Belirlenmesi”, Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 6, ss. 37-49, 2023.
- [9] Carla Tedeschi, Agnieszka Kwiecien, Maria Rita Valluzzi, Bartosz Zajac, Elisa Garbin, Luigi Binda, “Effect Of Thermal Ageing and Salt Decay On Bond Between Frp And Masonry”, Materials and Structures, 47, 2014.
- [10] Feryal Seçer Kariptaş, “Unkapanı Değirmeni Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projesi”, Restorasyon ve Konservasyon Dergisi, 20, ss. 39-47, 2013.
- [11] Zeynep Kuyrukçu, Eda Yıldız Kuyrukçu, “Tarihi ve Kültürel Süreklilik Bağlamında Sait Bektimur Evi’nin Yeniden Kullanımı”, Artium, 5, ss. 38- 50, 2017.
- [12] Eylem Saka, Ersin Kalınbayrak, Serap Şirin Mumcuoğlu, Emine Yaprak, “Yeniden İşlevlendirilen Bir Geleneksel Konut; Tokat Vasfı Süsoy Evi”, TÜBA-KED Türkiye Akademisi Kültür Envanteri Dergisi, ss. 119-149, 2018.
- [13] Kübra Güler, “Doğu Karadeniz Kırsal Mimarisi Örneklerinden Rize-Fındıklı Aydınoglu Evi Restorasyon Projesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [14] Hüseyin Ahmet Mahrebel, “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.
- [15] Fatma Cavlun, 2006. “Eyüp’te Ümmi Sinan Tekkesi Restorasyon Projesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

- [16] Leyla Karataş, “‘Mardin’de Kültürel Miras Yapılarında Restorasyon Sırasında Yapılan Hatalı Onarımlar, Restorasyon Sonrası Süreçte Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri’”, Kültürel Miras Araştırmaları Dergisi, 3 , ss. 78 – 86, 2022.
- [17] Seda Öztekin, “‘İstanbul Hanlar Bölgesi’nde Yer Alan Yarım Han’ın Restorasyon Projesinin Tarihi Belgelere Dayanarak Hazırlanması’”, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3, ss. 241-288, 2020.
- [18] Süleyman Akbaş, Kâmil Oktay, “‘Geleneksel Türk Konaklarının Turizme Kazandırılması: Kastamonu Örneği’”, Turizm ve Araştırma Dergisi, 9, ss. 179-194, 2020.
- [19] Roberta Macdonald, Lee Jolliffe, “‘Cultural Rural Tourism. Annals of Tourism Research’”, 30, ss. 307-322, 2003.
- [20] Selma Meydan Uygur, Eda Baykan, “‘Kültür Turizmi ve Turizmin Kültürel Varlıklar Üzerindeki Etkileri’”, Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi, 2, ss. 30-49, 2007.
- [21] Tony Matthews, Deanna Grant Smith, “‘Managing Ensemble Scale Heritage Conservation in The Shandon Architectural Conservation Area in Cork’”, Cities, 62, ss. 152-158, 2017.
- [22] Kenneth Frampton, “‘Towards A Critical Regionalism: Six Points For An Architecture of Resistance’”, In The AntiAesthetic: Essays on Post-Modern Culture, ss. 50-51, 1983.
- [23] Özlem Özkan Önür, “‘Taraklı’daki Sivil Mimarlık Örnekleri ile Halim Düzgün Evi’nin Proje ve Ali Pektaş Evi’nin Restorasyon Çalışmaları’”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009.
- [24] Ferdi Seymen, “‘Taraklı’da Geleneksel Sivil Mimaride Kullanılan Yapım Teknikleri ve Sadık Özen Evi Restorasyon Önerisi’”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [25] Sadık Selçuk Özkan, “‘Taraklı’nın Fiziksel ve Tarihsel Dokusu, Sivil ve Anıtsal Mimarlık Örnekleri Hacı Rıfatlar Konağı Restorasyonu’”, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [26] Taraklı Yusuf Bey Mahallesi.
<https://www.google.com/search?q=taraklı%C4%B1+yusufbey+mahallesi>. Erişim Tarihi: 21.09.2023
- [27] Taraklı Belediyesi Arşivi 2011.

- [28] Özlem Özkan Önür, Funda Didem Aydoğan, Kocaeli Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Raporu, İbrahim Kaya Evi. 2011.
- [29] Özlem Özkan Önür, Esra Mutlu, Ahmet Celal Apay, ‘‘Tarihi Yapılarda Koruma Fatma Sevim Dönmez Evi’’, Kültürel Miras Araştırmaları Dergisi, 3, ss. 17–25, 2022.