



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK PERFORMANSLI BETON PASPAYI ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI**

SAİT AYDIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ BEKİR ÇOMAK**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK PERFORMANSLI BETON PASPAYI ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI

Sait AYDIN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Bekir ÇOMAK

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Bekir ÇOMAK

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Alper BİDECİ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

Sakarya Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 26/08/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

26 Ağustos 2021

Sait AYDIN



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Bekir ÇOMAK'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU'na, Arş. Görev. Batuhan AYKANAT'a, Ha-Me Mühendislik Ltd. Şti.'ne ve MAKE Demiryolu ve Yapı Mühendislik Sistemleri San. Tic. Ltd. Şti.'ne şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, canım annem Gönül AYDIN'a ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

26 Ağustos 2021

Sait AYDIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. PASPAYI.....	2
1.1.1. Paspayının Görevi	3
1.1.2. Paspayı Çeşitleri.....	3
1.1.2.1. Plastik Paspayları.....	4
1.1.2.2. Beton Paspayları.....	6
1.1.2.3. Çelik Paspayları.....	6
1.1.3. Paspayı Kullanımı ve Yapısal Etkileri	7
1.1.3.1. Korozyon Etkisi.....	9
1.1.3.2. Karbonatlaşma.....	10
1.1.3.3. Klor İyon Geçirgenliği.....	11
1.1.3.4. Yük Aktarımı.....	11
1.1.3.5. Yangın Etkisi.....	11
2. MATERYAL VE YÖNTEM	13
2.1. MATERYAL	13
2.1.1. Agrega	13
2.1.2. Çimento	13
2.1.3. Uçucu Kül	14
2.1.4. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu	15
2.1.5. Karışım Suyu	15
2.1.6. Hiper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı	15
2.2. YÖNTEM	16
2.2.1. Karışım Oranları.....	18
2.2.2. Deney Numunelerinin Üretimi.....	18
2.2.3. Taze Beton Deneyleri	20
2.2.3.1. Yoğunluk Deneyi	20
2.2.3.2. Yayılma Çapı Deneyi	21
2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	21
2.2.4.1. Yoğunluk Deneyi	21
2.2.4.2. Su Emme Deneyi	22
2.2.4.3. Basınç Dayanımı Deneyi.....	22
2.2.4.4. Yükleme Deneyi.....	22
2.2.4.5. Maksimum Yük Kapasitesi Deneyi	24
3. BULGULAR.....	26
3.1. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI.....	26
3.1.1. Yoğunluk Deneyi.....	26

3.1.2. Yayılma Deneyi.....	26
3.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI	27
3.2.1. Yoğunluk Deneyi	27
3.2.2. Su Emme Deneyi	28
3.2.3. Basınç Dayanımı Deneyi	29
3.2.4. Yükleme Deneyi.....	30
3.2.5. Maksimum Yük Kapasitesi Deneyi	31
3.2.6. Tüketilen Enerji	32
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	37
5. KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	41



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Paspayı mesafesinin gösterimi ve paspayı elemanı.....	3
Şekil 1.2. Plastik, çimento bağlayıcılı malzeme veya çelik telden üretilmiş paspayı elemanları.....	4
Şekil 1.3. Örnek klipsli plastik paspayları a) A-paspayı b) Dairesel paspayı c) Kule paspayı.....	5
Şekil 1.4. Beton paspayı tipleri.....	6
Şekil 1.5. Çelik tel paspayı şekilleri.....	7
Şekil 1.6. Islanma-Kuruma çevrimlerine göre açık devre potansiyeli değerleri.....	9
Şekil 1.7. Islanma-Kuruma çevrimlerine göre korozyon akım yoğunluğu değeri.....	10
Şekil 2.1. Paspayı çimento döküm kalıbı.....	19
Şekil 2.2. Paspayı kalıbına numune dökümü.....	19
Şekil 2.3. Üretilen beton paspayları.....	20
Şekil 2.4. Beton paspayına donatı yerleşimi.....	20
Şekil 2.5. Yayılma deneyi ölçümleri a) Ölçüm 1 b) Ölçüm 2 c) Numunenin yandan görünüşü.....	21
Şekil 2.6. Yükleme testi cihazı.....	23
Şekil 2.7. Yükleme deneyi test düzeneği.....	24
Şekil 2.8. Normal yükleme.....	25
Şekil 2.9. Ters çevrilmiş (İkincil) yükleme.....	25
Şekil 3.1. Etüv kurusu yoğunluk.....	28
Şekil 3.2. Su emme ve görünen porozite.....	29
Şekil 3.3. 7 günlük ve 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.....	30
Şekil 3.4. Maksimum yük ve sehim değerleri.....	32
Şekil 3.5. Normal yükleme durumu için yük-deplasman eğrileri (Grafik üzerindeki değerler ortanca/medyan numunelere aittir).....	33
Şekil 3.6. Normal yükleme serilerine ait ortalama tüketilen enerji değerleri (Hata çubukları ± 1 standart sapma değerlerini ifade etmektedir)......	34
Şekil 3.7. Ters çevrilmiş numune yükleme durumu için yük-deplasman eğrileri (Grafik üzerindeki değerler ortanca/medyan numunelere aittir)......	35
Şekil 3.8. Ters çevrilmiş numune serilerine ait ortalama tüketilen enerji değerleri (Hata çubukları ± 1 standart sapma değerlerini ifade etmektedir)......	36

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. En dıştaki donatının dış yüzeyinden ölçülen gerekli beton örtü kalınlığı. ...	8
Çizelge 1.2. EN 10080'e uygun donatı çeliğinin dayanıklılığına bağlı beton örtü tabakası kalınlığı $c_{min, dur}$ değerleri.....	8
Çizelge 2.1. CEN standart kumu özellikleri.	13
Çizelge 2.2. Kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler.	14
Çizelge 2.3. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufuna ait kimyasal özellikler.	15
Çizelge 2.4. Hiper akışkanlaştırıcı teknik özellikleri.....	16
Çizelge 2.5. Hazırlanan karışım numunelerine ait içerik adları ve anlamları.....	17
Çizelge 2.6. Numune deneyleri ve standartları.....	17
Çizelge 2.7. Bir m^3 beton için karışım oranları.	18
Çizelge 2.8. TS 13652 Paspayı elemanları ve sehpa ların kategorilere göre uygulama yerleri.	22
Çizelge 3.1. Taze betonda numune yoğunlukları.	26
Çizelge 3.2. Yayılma deneyi sonuçları.	27
Çizelge 3.3. Yükleme deneyi sonuçları.	31

KISALTMALAR

ASTM	American Society for Testing Materials
BS	British Standart
CEN	European Committee for Standardization
C-S-H	Klasiyum Silika Hidrat
EN	European Norm
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
PÇ	Portland Çimentosu
UK	Uçucu Kül
YFC	Yüksek Fırın Cürufu



SİMGELER

c_c	Paspayı örtü kalınlığı
cm	Santimetre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
mm	Milimetre
mm^3	Milimetre küp
dm^3	Desimetre küp
gr	Gram
kg	Kilogram
kN	Kilo Newton
MPa	Mega paskal
m^3	Metreküp
N	Newton
s	Saniye
%	Yüzde
$\pm$	Artı eksi

ÖZET

YÜKSEK PERFORMANSLI BETON PASPAYI ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Sait AYDIN

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bekir ÇOMAK

Ağustos 2021, 40 sayfa

Demir donatının beton içerisinde güvenli bölgede kalmasını sağlayarak donatıyı korozyondan korumak amacıyla paspayı kullanılmaktadır. Günümüzde genel olarak plastikten imal edilmiş paspaylarının kullanımına rastlanmaktadır. İlk kalıp maliyeti yüksek olmasına karşın plastik paspayları hızlı üretim, düşük birim ağırlık ve kolay elde edilebilirlikleriyle tercih sebebi olmaktadır. Ancak beton ile plastik malzeme arasındaki düşük aderans, durabilite açısından problemlere neden olmakta bu nedenle özellikle durabilitenin önemli olduğu yapılarda beton paspayı kullanımı yaygınlaşmaktadır. Günümüzde yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip beton karışımlarının tasarlandığı dikkate alınırsa kullanılan paspayının, geçirimsizliği etkileyecek bir rol oynamasının meydana getireceği durabilite sorununun çözülmesi önem arz etmektedir. Burada önemli olan betonarme elemanda kullanılan beton karışımı ile çok iyi aderans sağlayarak ve düşük geçirimsizliğe sahip paspaylarının kullanımına gidilmesidir. Bu amaçla bu çalışmada, yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip çimento esaslı beton paspayı elemanların üretimi ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada bağlayıcı olarak çimento, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu tercih edilmiş ve biri referans olmak üzere katkı oranlarına göre farklılık gösteren toplam 7 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda taze halde yayılma çapı ve yoğunluk, sertleşmiş halde ise birim ağırlık, su emme, basınç dayanımı, yükleme ve maksimum yük kapasitesi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, üretilen beton paspayı elemanlarının tümü ilgili standartların gerektirdiği minimum koşulları sağlamış ve basınç dayanımı açısından en iyi performansı uçucu kül ile yüksek fırın cürufunun ikili kombinasyonundan elde ettiği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Beton paspayı, Çimento esaslı kompozitler, Paspayı, Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE COVER

PRODUCTION

Sait AYDIN

Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Civil Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Bekir COMAK

August 2021, 40 pages

Concrete covers protect the rebars from corrosion by keeping them in the concrete in a safe area. Today, the use of plastic spacers is generally encountered. Although the initial mold cost is high, plastic spacers are preferred due to their fast production, low unit weight and ease of availability. However, the low adherence between concrete and plastic spacers causes problems in terms of durability, so the use of concrete spacers is becoming widespread, especially in structures where durability is important. Considering that concrete mixtures with high strength and durability are designed today, it is important to solve the durability problem that spacers play a key role in impermeability. The important thing here is that the concrete mixture used in the reinforced concrete element provides excellent adherence and the use of spacers with low permeability. For this purpose, in this study, the production and performance evaluation of cement-based concrete cover elements with high strength and durability were established. In the study, cement, fly ash, and ground granulated blast furnace slag were preferred as binder materials, and a total of 7 different mixtures were cast, one of which was a reference. In the prepared mixtures, the flow diameter and density tests were carried out in the fresh state, and unit weight, water absorption, compressive strength, loading and maximum load capacity tests were carried out in the hardened state. As a result, all of the produced concrete spacer elements met the minimum requirements of the relevant standards, and it was seen that the best performance was obtained from the binary combination of fly ash and ground granulated blast furnace slag in terms of compressive strength.

Keywords: Cement based composites, Concrete spacers, Fly ash, Ground granulated blast furnace slag, Spacers.

1. GİRİŞ

Beton, çimento pastası, bu pasta içerisinde dağılmış olan agregalar ve agregalar ile çimento pastası ara yüzeyinden oluşan çok fazlı bir yapı malzemesidir [1]. Beton, dayanıklı, ekonomik, güvenli ve çok fazla bakım ihtiyacı olmayan en önemli yapı malzemesidir. Ayrıca alt yapı yatırımlarının vazgeçilemeyen bir ögesidir. Viyadükler, köprüler, yollar, barajlar, tüneller, tren yolları, bariyerler gibi birçok yapı beton sayesinde inşa edilebilmektedir [2].

Betonarme ise en temel anlamıyla donatılmış beton anlamına gelen Béton Armé teriminden türetilmiş bir kelime, malzeme olarak ise beton ve donatı birleşiminden oluşan çok önemli bir yapı malzemesidir. Betonarmeden bahsedebilmek için bu iki malzemenin birliktelik oluşturması zorunludur. Bu birlikteliğin tam olarak gerçekleşebilmesi için de donatı ve betonun kendilerinden beklenen davranışı sergilemesi ve her birinin yapması gereken görevleri tam olarak yerine getirebilmesi gerekmektedir [3]. Betonarmenin rijitliğinin fazla oluşu, ucuz olması, yangına ve dış etkilere karşı dayanıklı oluşu, istenilen şeklin verilebilmesi, servis ömrünün uzun olması, bakımının kolay olması, elemanlarının birleşme sorununun olmaması ve işçilik hizmetlerine erişiminin kolaylığı olumlu özellikleri olarak diğer yapı malzemelerine göre ön plana çıkarken, ağır olması, malzemenin yeniden kullanılamaması, inşa süresinin uzun oluşu, kaliteyi tutturmanın zorluğu, kusurların sonradan belirlenmesinin zorluğu ve çatlak oluşma riskleri olumsuz yönleri olarak söylenebilir [3].

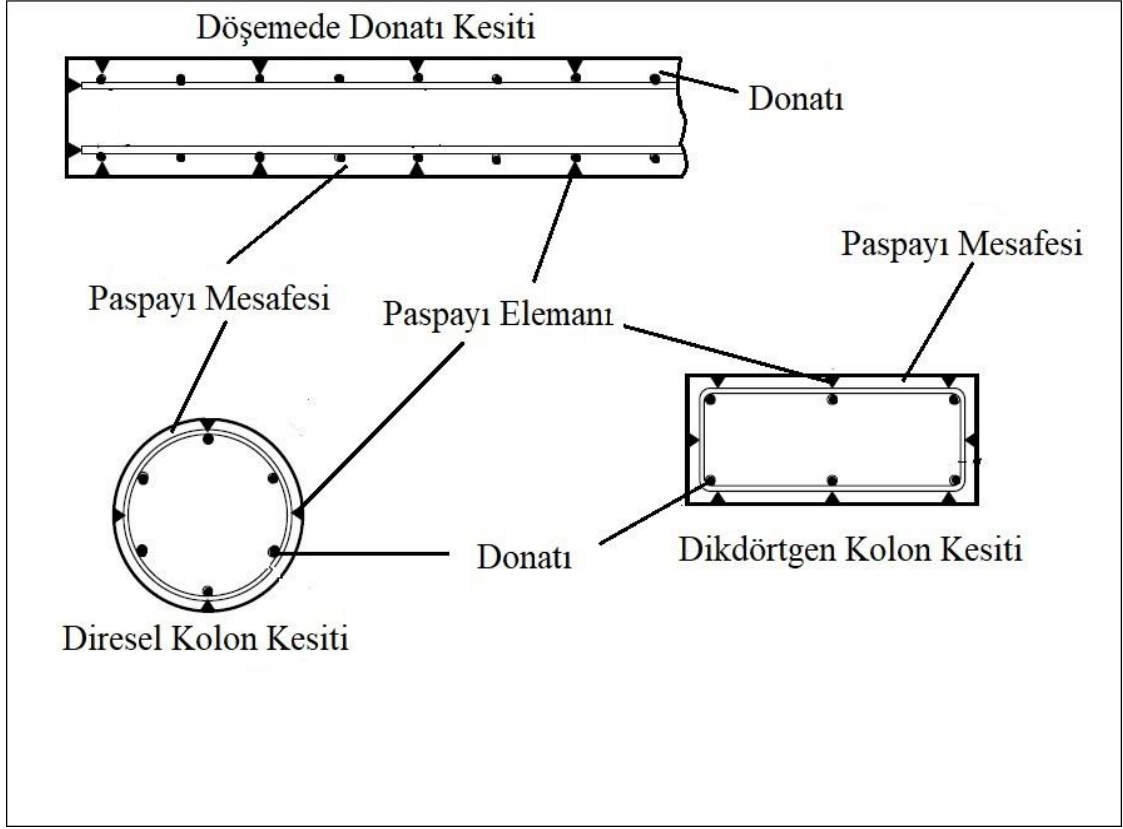
Betonarme özellikle ekonomik olması ve göstermiş olduğu üstün performansı nedeniyle dünya çapında en çok kullanılan kompozit bir yapı malzemesidir [4]. Beton karışımlarında yer alan çakıl veya kırma taş betonun iskeletini oluştururken kum ise iri taneler arasındaki boşlukları doldurarak kompasitenin artırılmasını sağlamaktadır. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Böylelikle beton maruz kaldığı iç ve dış etkilere dirençli hale gelir [5]. Matris fazı, kalsiyum hidroksit, alüminat ve ferritten olan kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jellerinden oluşmaktadır [1].

Günümüzde birçok yapıda yaygın bir şekilde kullanım alanı bulan betonun

performansından söz edildiğinde, işlenebilirlik, yeterli basınç dayanımı ve durabilite başta gelmektedir. Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini servis ömürleri boyunca bozulmadan yerine getirmelerine durabilite, dayanıklılık veya kalıcılık adı verilir. Betonun durabilitesi (çevresel koşullara karşı direnç) ise, alkali silika reaksiyonu, alkali karbonat reaksiyonu, iç ve dış kaynaklı sülfat atağı ve donatı korozyonu başlıkları ile sınıflandırılabilir. Betonarme yapıların durabilitesini etkileyen fiziksel ve kimyasal işlemlerin hemen hepsinde temel etken, su ve zararlı maddelerin beton bünyesindeki boşluklar ile çatlaklar içindeki taşınımıdır. Gazların, suyun ve zararlı maddelerin beton içine taşınımı ve bunların beton ile etkileşimi, bozulma sürecinin gelişimi açısından çok önemlidir [6], [7]. Betonda zararlı etkilerin büyük bir çoğunluğu da klorürlerin ve gazların yine beton boşlukları ve çatlaklar boyunca ilerleyerek donatıya ulaşması ve bu etkiler nedeniyle donatının korozyona uğramasından kaynaklanmaktadır. Donatıyı korozyona karşı korumak ve beton-donatı kenetlenmesini sağlamak amacı ile donatı ve dış ortam arasında bir beton örtüsü oluşturulmalıdır. Bu sebeple bırakılan bu beton örtü tabakasının kalınlığı ile fiziksel ve mekanik özellikleri betonların servis ömürleri üzerinde hayati bir etkiye sahiptir [3], [8]. Tasarımı doğru yapılmış, geçirimsiz, kaliteli imal edilmiş beton, donatısını korozyondan ve dış etkilerden koruyarak yapının mukavemetini ve durabilitesini istenen düzeyde sağlayacaktır.

1.1. PASPAYI

Çelik donatı ile en yakın beton yüzeyi arasındaki mesafeye paspayı (beton örtü kalınlığı) denir. Beton ile kalıp veya grobeton arasındaki paspayı mesafesini korumak ve donatıya, kalıp veya grobetonun bir veya daha fazla yüzeyinden, bir noktada destek sağlamak ve donatıyı koruma altına almak için yerleştirilen bileşende, paspayı elemanı olarak adlandırılır [9]. Paspayının boyutu, yapısal tasarımda maruz kalma ortamının ciddiyetine, gerekli dayanıklılık ve yangın direncine göre tanımlanan donatıya kadar olan beton örtüsü derinliğini belirler [10]. Paspayı mesafesi ve paspayı elemanı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Paspayı mesafesinin gösterimi ve paspayı elemanı.

1960'tan önce beton dökümü sırasında tuğla, kaya, kereste parçaları, fayans veya kullanılabilen her türlü malzeme donatıyı kalıpta desteklemek için kullanılırdı. Yavaş yavaş, farklı şekil ve boyutlarda beton, plastik paspayları ve çelik tel sehpalar ve bağlama yöntemleri ile donatı tamamen aynı şekilde beton kaplanmaya başlanmıştır [11].

1.1.1. Paspayının Görevi

Paspayı elemanı, betonarme yapılarda temel bileşendir. Paspayının görevi, çelik donatıları kalıp içinde doğru konumda sabitleyerek, betonlamadan önce ve betonlama sırasında hareket etmesini önlemek ve böylece bitmiş yapıda gerekli beton örtüyü elde etmektir. Paspayı elemanı, yapısal tasarımda çevresel koşulların şiddetine, gerekli dayanıklılığa ve yangın direncine göre tanımlanan donatıya olan örtü derinliğinin boyutunu belirler [12], [10].

1.1.2. Paspayı Çeşitleri

Paspayı elemanları; plastikler, çimento bağlayıcılı malzemeler ve çelik tel olmak üzere üç temel malzemeden imal edilir [9], [10]. Şekil 1.2'de farklı malzemelerden üretilmiş paspayları görülmektedir.



Şekil 1.2. Plastik, çimento bağlayıcı malzeme veya çelik telden üretilmiş paspayı elemanları [13].

1.1.2.1. Plastik Paspayları

Plastik paspayları, farklı mukavemet derecelerinde bağlı olarak geri dönüştürülmüş plastikten üretilmiştir. Örneğin, daha yüksek mukavemetli plastik paspayı, daha büyük boyuttaki donatıyı desteklemek için kullanılır. Plastik paspayları çok yönlüdür, çünkü onları herhangi bir bağlantı gerektirmeden dikey, açılı ya da yatay olarak kullanabilirsiniz, bu hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlar.

Plastik paspayları iki ana yüzeyine göre sınıflandırılır: klipsli paspayı (“A” paspayı yada kule paspayı) ve teker paspayı (dairesel paspayı) [12].



a)

b)

c)

Şekil 1.3. Örnek klipsli plastik paspayları a) A-paspayı b) Dairesel paspayı c) Kule paspayı [12].

Teker tipi, esas olarak tam dairesel veya yarım daire şeklindedir ve kenarlarından neredeyse eşit kaplama sağlar. Sehpa tipi, sadece bir kenarından tasarım örtüsü veren tek donatı oturması şeklindedir. Tekerlek tipi herhangi bir kalıp pozisyonunda kullanılabilir, ancak sehpa tipi kadar sağlam değildir ve donatı çubuk uzunluğu başına sehpa gurubundan daha fazla paspayı kullanımı gerektirebilir [14].

Kule paspayları, ikili veya üçlü beton örtüsünün gerekli olduğu ağır hizmet uygulamaları içindir. Kule tipi paspayları, klipsli paspayları ile karşılaştırıldığında daha geniş bir tabana sahiptir, böylece donatı ağırlığını yalıtımı delmeden veya yumuşak zemine batmadan kalıba aktarılabilir [12].

İlk kalıp maliyeti yüksek olmasına karşın plastik paspayları hızlı üretim, düşük birim ağırlık ve kolay elde edilebilirlikleriyle tercih sebebi olmaktadır [10]. Genel olarak, plastik paspayları, çimento esaslı paspayı veya çelik tel sehpalara kıyasla daha karmaşık bir şekle sahiptir. Bu durum paspayının etrafındaki agregaların dağılımını etkileyebilir. Diğer bir taraftan plastik paspayının geniş yüzeyi betonla daha iyi bir bağ sağlayabilir. Plastik paspayındaki açıklıklar en büyük agrega büyüklüğünün boşluğa rahatça yerleşebileceği boyutta olmalıdır. Beton işlenebilirliği, karışımın boşluklara rahatça akmasını sağlayacak kadar yüksek olmalıdır [15]. TS 13652’de, çimento bağlayıcılı olanlar haricindeki paspayı elemanlarının, kullanıldığı donatı çubuklarına dik en kesitinde kapladığı çevre bünyesinde en az %25 boşluk bulunması gerektiği belirtilmiştir [9]. Bu nedenle, aderans eksikliğini kapatmak ve üretimde maliyeti düşürmek amacı ile plastik paspayı arasına beton girebilecek şekilde tasarımlar yaygın olarak imal edilmiştir.

Plastik paspaylarının termal genleşme ve büzülme katsayısı betondan çok farklıdır.

Öyleki, betonun 16 katı kadar yüksek olabilir, paspayı 80 °C'ye kadar varan beton iç sıcaklığı gibi yük altındaki deformasyon boyutlarında yumuşayabilir [11]. Plastikten imal edilmiş paspaylarının çimento harcı ile yeterli aderansının bulunmayışı, olumsuz bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır [10].

Soğuk koşullarda plastik paspaylarının kullanımına daha fazla önem verilmelidir. Yaklaşık 5°C'nin altında, paspayı içinde yaygın olarak kullanılan polimer olan polietilen, çok daha az elastik hale gelir ve kırılma eğilimine maruz kalır, özellikle klipsli tiplerinde. Bu sebeple Çeliğe uyacak şekilde açılmaları için gerilmeleri gerekir.

1.1.2.2. Beton Paspayları

Çimentolu paspayları; beton, harç veya elyaf takviyeli betondan yapılır. Uçucu kül, cüruf ve silika dumanı, genellikle malzemelerin dayanıklılık performansını artırmak için karışıma dahil edilir. Çimentolu paspayları, tek örtülü paspayı veya çizgi paspayı olarak sınıflandırılır [12].



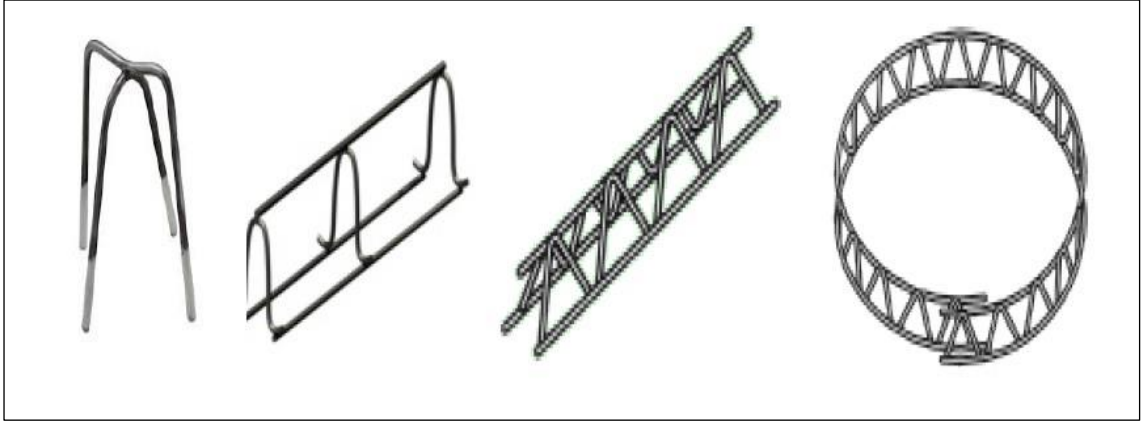
Şekil 1.4. Beton paspayı tipleri [16].

Tek kapaklı paspayları, yatay donatı için yaygın olarak kullanılır, donatı uygulamasına bağlı olarak daha geniş örtü aralığı sağlar (15-75 mm). Tek kapaklı paspayları ayrıca paspayının donatıya 16-18 ölçüsünde yumuşak demir telle bağlandığında kullanılabilir. Zorlu şartlar için paslanmaz çelik veya epoksi kaplı teller kullanılabilir [12].

1.1.2.3. Çelik Paspayları

Çelik paspayları tek telli sehpa ve sürekli sehpa olmak üzere ikiye ayrılır, örnek çelik paspayları Şekil 1.5'te gösterilmektedir. Çelik paspayları aynı ölçüdeki 3,5mm ya da 5mm çelik veya paslanmaz çelik tellerin boyuna kaynaklanması ile üretilir. Tek telli paspayları esas olarak sürekli bir sandalyeyi desteklemek için alt takviyenin olmadığı

konsol plakalarında kullanılır. Düz tel çelik paspayları klorür girişine veya karbonasyona maruz kaldığında kolayca paslanabileceğinden, açık yüzlerde kullanılan sandalyelerin bacakları en az sonda 40 mm'lik bir mesafe için plastik koruyucu uçlarla kaplanır [12].



Şekil 1.5. Çelik tel paspayı şekilleri.

1.1.3. Paspayı Kullanımı ve Yapısal Etkileri

Paspayı, çelik donatı ile beton yüzey arasında istenilen beton örtü kaplamasını sağlar. Donatı, döşeme ve kirişlerde olduğu gibi yatay, kolon ve duvarlarda olduğu gibi dikey veya eğimli olabilir. Paspayları, ayrıca donatının katmanlarını örtmek için kullanılır. Birçok değişik tipteki paspayı bir yapı içinde kullanılmıştır. Paspayı donatıya sabitlenmeli ve burkulma yada devrilmeden donatı ağırlığına direnecek yapısal mukavemete sahip olmalıdır [12].

Paspayları, yeterli derinlikte ve kaliteli beton kaplama elde etmek, gömülü çelik donatıları dış ortamdan koruduğu için kritiktir. Düşük kaliteli veya yetersiz beton kaplama, beton yapıların bozulmasının temel biçimi olan donatıda erken korozyona neden olan ana faktördür. Yapısal tasarımda, belirtilen paspayının uygulanması ile, yapının inşa edildiğinden itibaren dayanıklılık, yangına dayanıklılık ve servis kolaylığı açısından beklenen tasarım performansını sağladığı varsayılmaktadır [12], [10].

TS 500'e göre net beton örtüsünün, diğer bir deyişle paspayı ölçüsünün minimum değerleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. En dıştaki donatının dış yüzeyinden ölçülen gerekli beton örtü kalınlığı [17].

Zeminle doğrudan ilişkide olan elemanlarda	$C_C \geq 50 \text{ mm}$
Hava koşullarına açık kolon ve kirişlerde	$C_C \geq 25 \text{ mm}$
Yapı içinde, dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişlerde	$C_C \geq 20 \text{ mm}$
Perde duvar ve döşemelerde	$C_C \geq 15 \text{ mm}$
Kabuk ve katlanmış plakalarda	$C_C \geq 15 \text{ mm}$

TS EN 1992-1-1 standardına göre çeşitli çevre etki sınıfları için minimum paspayı kalınlıkları Çizelge 1.2’de verilmektedir. Yapısal sınıflandırma ve $c_{\min, \text{dur}}$ değerleri, her ülke için, kendi milli ekinde verilebilir. Önerilen yapı sınıfı (tasarım kullanım ömrü 50 yıl olan) S4’tür [18].

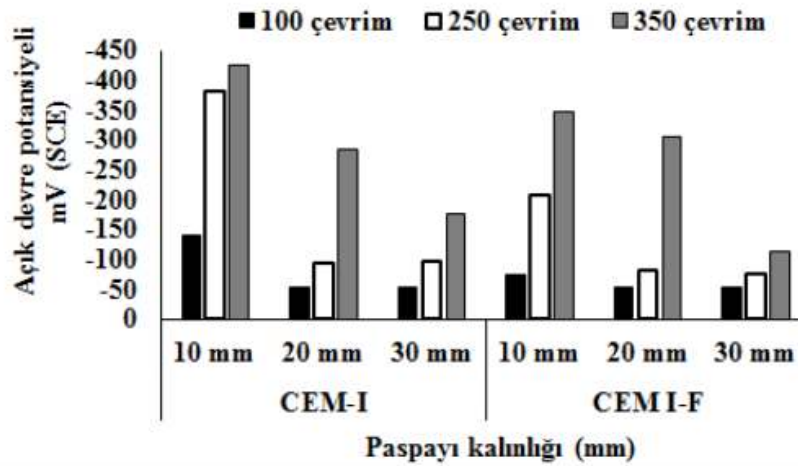
Çizelge 1.2. EN 10080'e uygun donatı çeliğinin dayanıklılığına bağlı beton örtü tabakası kalınlığı $c_{\min, \text{dur}}$ değerleri [18].

Çevre etki sınıflarına göre $c_{\min, \text{dur}}$ değerleri (mm)							
Yapı Sınıfı	EN 206-1’e göre çevresel şartlar ile ilgili etki sınıfları						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS2	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

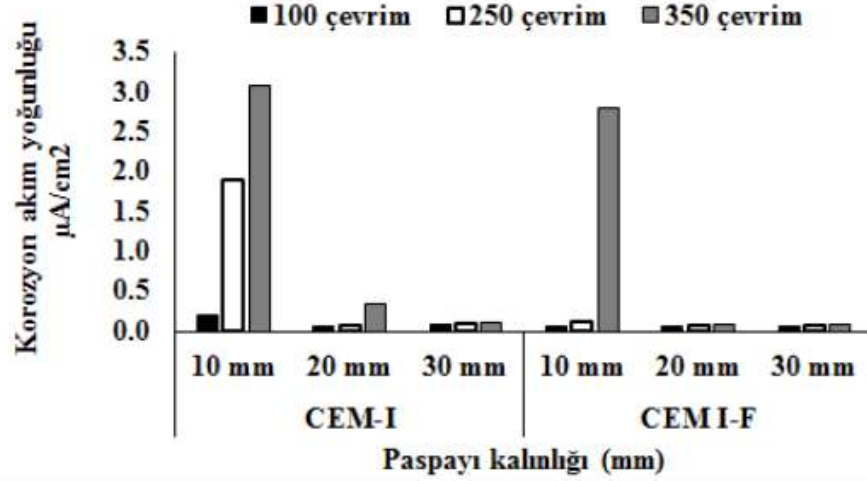
1.1.3.1. Korozyon Etkisi

Dizaynı doğru yapılmış, geçirimsiz, kaliteli bir beton, çeliği korozyondan koruyarak yapının dayanımını ve dayanıklılığını istenen düzeyde sağlar. Kimyasal koruma betonun alkalinitesi sayesinde, fiziksel koruma ise ortamda bulunan ve korozyona yol açan maddelerin yapı elemanı içine difüzyonunun önlenmesi ile gerçekleşir. Betonun bu olumlu özelliğine rağmen uygulamada yapılan hatalar nedeniyle korozyon günümüzde betonarme yapıların servis ömürlerini belirleyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir [2]. Bina içleri gibi korunmuş kısımlarda paspayı örtü kalınlığının 15-20 mm civarında alınması mümkünken, korozyon riskinin yüksek olduğu ortamlarda, örneğin deniz yapılarında, bu değerin 50-60 mm ve üzerinde olması önerilir. Ayrıca paspayı tabakası gerekli kalınlığının beton kalitesine ve geçirimsizliğine bağlı olduğu, standartlarda beton kalitesi ve pas payı kalınlığı için önerilen değerlerin genellikle yapının servis ömrünün 50 yıl olacağı kabulüne dayandığı dikkate alınmalıdır [19].

A. Beglarigale ve arkadaşlarının bildirdiğine göre [20], yapılan deneylerdeki donatı korozyonu ile ilgili açık devre potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğu ölçümü sonuçları Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de verilmiştir. Buna göre paspayı 1 cm olan numunelerde aktif korozyon sürecinin başladığını gösterirken 2 ve 3 cm kalınlıktaki paspaylarında %90 dan büyük ihtimalle korozyon gelişiminin henüz başlamadığı söylenebilir.



Şekil 1.6. Islanma-Kuruma çevrimlerine göre açık devre potansiyeli değerleri [20].



Şekil 1.7. Islanma-Kuruma çevrimlerine göre korozyon akım yoğunluğu değeri [20].

50 mm ile 70 mm'lik bir beton kaplamanın, agresif bir ortamda donatıyı korozyona karşı korumada kritik rolü olduğunu göstermiştir. Ayrıca, 40 mm'ye kadar olan ince kaplamalarda yüksek konsantrasyonda klorür iyonlarının bulunduğunu da göstermiştir. Ancak 50 mm ile 70 mm arasında kalın bir beton örtünün kullanılmasının, kuralların izin verdiği maksimum limitleri aşan çatlak genişliklerinin artmasına yol açacağı görülmektedir. Geniş çatlakların aralığı, kalın bir kapak için geçerli olabilecek beton örtü kalınlığının iki katından azsa ($S < 2C$), çelik çubukları korozyona karşı korumada kalın beton örtünün etkinliğinde bir azalma olacaktır. Bu nedenle, dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak için her iki gereksinim (çatlak genişliği ve beton örtüsü) birleştirilmelidir [21].

1.1.3.2. Karbonatlaşma

Betonarme yapılarda meydana gelen karbonatlaşma donatıda korozyon oluşmasına sebep olabilmektedir. Karbonatlaşma olayı sonucunda, betondaki kalsiyum hidroksit miktarı azalmakta ve betonun PH değeri düşmektedir. PH değerinin düşük olduğu ortamda donatı korozyonunun oluşumu ise hızlanmaktadır. Karbonatlaşma olayı beton yüzeyinden başlayarak iç kısımlara doğru etkili olmaktadır. Betonun geçirimliliği arttıkça ve beton yüzeyinde mikro çatlaklar çoğaldıkça, karbonatlaşmanın etki ettiği derinlikte artmaktadır [22]. Örneğin paspayı tabakası yetersiz kalınlıkta, geçirimli ve kalitesiz bir betonarme eleman içindeki çelik donatı uygun ortamda kısa sürede paslanabilir. Çünkü böyle bir elemanda karbonatlaşma cephesi, klorür iyonları veya asidik sıvılar kolaylıkla çeliğe ulaşabilir [6].

1.1.3.3. Klor İyon Geçirgenliği

Klorür iyonları beton içine çeşitli yollardan girmesiyle donatıya ve betona zarar verir. Özellikle betonla temas halindeki deniz suyu ya da tuzlu yeraltı suları, buz çözücü tuzlar, tuz üreten veya işleyen sanayi tesisleri önemli birer klorid kaynağıdır. Düşük S/Ç oranına sahip yoğun, geçirimsiz ve yeterli kalınlıkta imal edilecek paspayı tabakası ile karbonatlaşma reaksiyonuna ve klorür difüzyonuna büyük ölçüde engel olmak mümkündür. Buna karşılık boşluklu, geçirimli ve yeterli kalınlıkta imal edilmemiş pas payı tabakasına sahip betonarme elemanların servis ömürlerinin de çok kısa olması beklenir [19].

1.1.3.4. Yük Aktarımı

Paspayının temel amaçlarından biri de betonarme donatıya kalıpta yük aktarımının doğru bir şekilde gerçekleşmesi için uygun pozisyonunda tutmaktır. Yük aktarımı için uygun donatı pozisyonunun sağlanması tek başına yeterli olmayıp, kaplama bölgesindeki betonun kalitesi de yeterli seviyede olmalıdır. Bu bölgedeki beton kalitesi düşükse ve korozyonun başlamasıyla çeliğe kadar karbonatlaşma şeklinde bozulmaya izin veriyorsa, kaplama derinliği koruyucu özellik açısından yetersiz kalmakta ve bozulma süreçleri hızlanmaktadır [14].

1.1.3.5. Yangın Etkisi

Betonarmenin yangın dayanımı ile ilgili özellikleri, bu kompozit yapı sistemini oluşturan çelik ve beton malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Ayrıca sıcaklığa karşı çok hassas olan donatının da fazla ısıya maruz kalmaması gerekir. Bu görevi yeterli kalınlıktaki beton paspayı tabakası yerine getirir. Yapılan deneylerde, betonarmede yangına dayanma süresinin çelik donatının ısınma hızına bağlı oluşunun saptanması, beton paspayı kalınlığının önemini açıkça göstermektedir [23]. Yapılan deneyler sonucunda, yüksek sıcaklıklarda harç ile sağlanan 25 mm pas payının, donatıları koruyarak, akma ve çekme dayanımı kayıplarını azalttığı, pas paysız donatılara göre dayanımlarının yüksek olduğu görülmektedir. Paspayının 25 mm olduğu bu çalışmada, 500 °C üzerinde donatı mekanik özelliklerinin korunamadığı görülmektedir. Yapılan araştırmalar, normal bir konut yangınının 815 °C civarında olabildiği ve anlık olarak 1093 °C'lik zirve sıcaklığına ulaşabildiğini belirtilmiştir. Bu bilgiye göre, paspayı arttırılarak bu sıcaklıklarda donatıyı koruyabilecek paspayı kalınlığı bulunabilir [24]. Aynı şekilde M. Akyürek'in bildirdiğine göre [25], fiber takviyeli polimer ve cam fiber takviyeli polimer donatılı numunelerin ısı

iletimi deney sonuçlarına göre paspayı örtü kalınlığı arttıkça ısı iletiminin azaldığı görülmüştür.

Birçok saha çalışmasında deneysel ve gözlemsel incelemelerle elde edilen bulgular, plastik paspayı kullanımı durumunda köprü ayakları, kolonlar, havaalanı binaları ve nükleer güç reaktörlerinde paspayı bölgelerinde aşırı bir korozyon oluşumunun gözlemlendiğini belirtmektedir. Bunun yanında özellikle inşaat sahasında üretilerek kullanılan çimento esaslı paspaylarında da plastik paspaylarına benzer şekilde korozyon hasarlarına rastlamak mümkün olmaktadır [12], [26]. Çimento esaslı paspayları, beton matrise benzer bir genleşme katsayısına sahip oldukları, çelik veya plastik paspayları ile karşılaştırıldığında daha büyük yüklere dayanabilmeleri ve daha yüksek aşınma direncine sahip oldukları için diğer paspayı türlerine göre daha fazla avantajlara sahiptir [12].

Günümüzde yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip beton karışımlarının tasarlandığı dikkate alınırsa, kullanılan paspayının geçirimsizliği etkileyecek bir etkisinin olmasından dolayı ortaya çıkacak olan bir durabilite sorununun çözülmesinde de önemli bir rolü bulunmaktadır. Burada önemli olan betonarme elemanda kullanılan beton karışımı ile çok iyi aderans sağlayacak ve düşük geçirimsizliğe sahip olacak paspaylarının kullanımına gidilmesidir.

Bu amaçla, 7 farklı beton karışım tasarımı yapılarak, beton paspayları üretilmiştir. Üretilen beton paspayı elamanları üzerinde, ilgili standartlara göre mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek için testler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, üretilen beton paspaylarını birbiri ile kıyaslanarak, en uygun beton paspayı elemanı belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. MATERYAL

Deneysel çalışmalarda çimento, agrega, öğütölmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı ve karışım suyu kullanılmıştır.

2.1.1. Agrega

Beton numunelerin dökümlerinin tümünde CEN standart kumu EN 196-1 kullanılmıştır [27]. Kullanılan CEN Standart kumunun teknik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. CEN standart kumu özellikleri.

Deneyler	CEN Standart Kumu
Partikül Yoğunluğu (Mg/m^3) EN 1097-6	2,64
Su Emme (%) EN 1097-6	0,2
Kum Akıcılığı (s) EN 933-6	28
Silisyum Dioksit İçeriği (% SiO_2)	98,05
Alüminyum Oksit İçeriği (% Al_2O_3) ISO 29581-2	0,54
Demir İçeriği (% Fe_2O_3) ISO 29581-2	0,07
Kızdırma Kaybı 950 °C (EN 196-2)	0,16

2.1.2. Çimento

Çalışmada OYAK Adana Çimento A.Ş. ’nin TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretmiş olduğu CEM I 52,5 R tipi beyaz portlant çimentosu kullanılmıştır [28]. Kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler.

Bileşen	Birim	CEM 1 52,5 R	Deney Standardı	TS EN 197-1 Limitleri
CaO	%	65,70	XRF/TS EN 196-2	-
SiO ₂		21,50		-
Al ₂ O ₃		4,10		-
S.CaO		1,60		-
MgO		1,05		-
Fe ₂ O ₃		0,30		-
Na ₂ O		0,21		-
K ₂ O		0,42		-
Cl		0,016	EN 196-2	Mak. %0,1
SO ₃		3,35	EN 196-2	Mak. %4
Çözünmeyen Kalıntı		0,01	EN 196-2	Mak. %5
Kızdırma Kaybı		3,25	EN 196-2	Mak. %5

2.1.3. Uçucu Kül

Çalışmada F sınıfı Çatalağzı Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Kullanılan F sınıfı UK'ye ait kimyasal özellikler Çizelge 2.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufuna ait kimyasal özellikler.

Kimyasal Kompozisyon (%)	Yüksek Fırın Cürufu (YFC)	Uçucu Kül (UK)
SiO ₂	40,52	58,56
Fe ₂ O ₃	1,10	6,51
TiO ₂	0,98	1,21
Al ₂ O ₃	14,59	23,39
CaO	34,18	1,81
MgO	7,29	2,02
Na ₂ O	0,58	0,53
K ₂ O	1,10	4,13
SO ₂	0,16	0,0013

2.1.4. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

Bolu Çimento A.Ş. tarafından TS EN15167-1 standardına uygun olarak üretilen öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır [29]. Kullanılan yüksek fırın cürufuna ait kimyasal özellikler Çizelge 2.3’te verilmiştir.

2.1.5. Karışım Suyu

Deneyisel çalışmalar süresince deney numunelerinin üretiminde Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi şebeke içme suyu kullanılmıştır. Kullanım sırasında bekletme, dinlendirme gibi herhangi bir fiziksel işleme tabi tutulmadan şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

2.1.6. Hiper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı

Çalışmada Polydos marka SR 770 model yüksek performanslı priz geciktirici Hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Tüm serilerde çimento ağırlığının %1,5’i olacak şekilde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan hiper akışkanlaştırıcıya ait bazı teknik

özellikler Çizelge 2.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.4. Hiper akışkanlaştırıcı teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	Değerler
Kimyasal İçeriği	Polikarboksilat Esaslı
Görünüm-Renk	Kahverengi sıvı
Yoğunluk	1,06 ± 0,02 kg/l
pH Değeri	5,5 ± 1
Klor İçeriği	<%0,1
Alkali İçeriği	<%4
Donma Noktası	-4 °C

2.2. YÖNTEM

Bu çalışmada bağlayıcı olarak CEM 1 52,5 R beyaz portlant çimento, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu tercih edilmiş ve biri referans olmak üzere toplam 7 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda taze halde yayılma çapı ve yoğunluk deneyleri, sertleşmiş halde ise birim ağırlık, su emme ve porozite, basınç dayanımı, yükleme ve maksimum yük kapasitesi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tümü ilgili standartlara göre gerçekleştirilen bu deneyler ile üretilen beton paspaylarının, mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, üretilen beton paspayları birbiri ile kıyaslanarak en uygun beton paspayı elemanı belirlenmiştir. Deney çalışmalarının tümü Düzce Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Beton Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan karışım numunelerine ait içerik adları ve açıklamaları Çizelge 2.5'te, üretilen deney numuneleri üzerinde yapılan deneyler ve deney standartları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.5. Hazırlanan karışım numunelerine ait içerik adları ve anlamları.

Numune Adı	İçerik Açıklaması
REF	Referans numune (Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içermez)
UK10	Çimentonun %10'u oranında uçucu kül içeren numune
UK20	Çimentonun %20'si oranında uçucu kül içeren numune
YFC10	Çimentonun %10'u oranında yüksek fırın cürufu içeren numune
YFC20	Çimentonun %20'si oranında yüksek fırın cürufu içeren numune
UK10+YFC10	Çimentonun %10'u oranında uçucu kül ve %10'u oranında yüksek fırın cürufu içeren numune
UK20+YFC20	Çimentonun %20'si oranında uçucu kül ve %20'si oranında yüksek fırın cürufu içeren numune

Çizelge 2.6. Numune deneyleri ve standartları.

	Belirlenen Özellik	Standart	Numune Boyutu
Taze Beton Deneyleri	Yoğunluk	TS EN 12350-6	-
	Kıvam	TS EN 1015-3	-
Sertleşmiş Beton Deneyleri	Yoğunluk	TS EN 12390-7	Beton Paspayı
	Su Emme	ASTM C 642	Beton Paspayı
	Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3	50x50x50 mm
	Yükleme Deneyi	TS 13652	Beton Paspayı
	Maksimum Yük Kapasitesi Deneyi	TS 13652	Beton Paspayı

2.2.1. Karışım Oranları

Beton paspayları çimento, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, hiper akışkanlaştırıcı, agregası ve su kullanılarak üretilmiştir. Karışıma giren malzeme miktarları ve numunelere verilen kodlamalar Çizelge 2.7’de verilmiştir. Karışımlarda, çimento miktarı sabit tutulup, çimento ağırlığının %10,%20 oranlarında UK ve YFC, agregası miktarlarından azaltılarak 7 farklı karışım numunesi elde edilmiştir.

Çizelge 2.7. Bir m³ beton için karışım oranları.

Seriler	Çimento (kg)	Su (kg)	Kimyasal Katkı (kg)	Silis Kumu (kg)	Kimyasal Oranı (%)	S/Ç (%)	UK (kg)	YFC (kg)
Referans	500	230	7,5	1542	1,50	0,46	0	0
UK10	500	230	7,5	1487	1,50	0,46	50	0
UK20	500	230	7,5	1432	1,50	0,46	100	0
YFC10	500	230	7,5	1495	1,50	0,46	0	50
YFC20	500	230	7,5	1448	1,50	0,46	0	100
UK10+ YFC10	500	230	7,5	1440	1,50	0,46	50	50
UK20+ YFC20	500	230	7,5	1338	1,50	0,46	100	100

2.2.2. Deney Numunelerinin Üretimi

Karışımlar, TS EN 196-1’e uygun olarak sıcaklığı 20±2 °C ve bağıl nemi %60±5 olan laboratuvar ortamında hazırlanmıştır [27]. Hazırlanan karışımlar 50x50x50 mm boyutlarındaki kalıplara ve beton paspayı kalıplarına dökülmüştür.



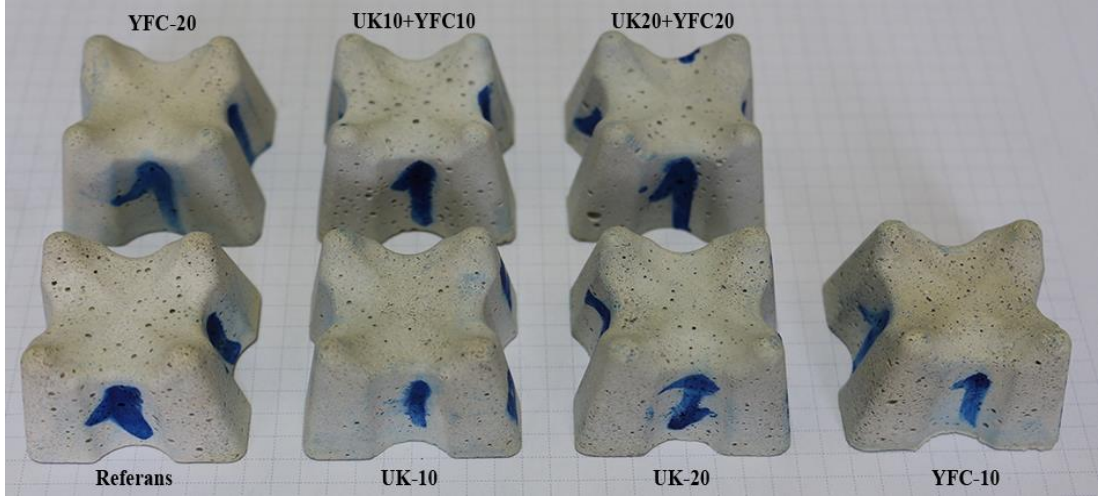
Şekil 2.1. Paspayı çimento döküm kalıbı.

Kalıplara dökülen karışımlar, beton vibrasyon masasında sarsılarak, sıkıştırma ve düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. Sarsma düzeltme işleminden sonra numunelerin üzerine cam levha kapatılmış, bağıl nemin %95 olduğu rutubet dolabında 24 saat bekletilmiştir.



Şekil 2.2. Paspayı kalıbına numune dökümü.

Bu süre sonunda çıkarılan numuneler test gününe kadar su küründe bekletilmiştir. Üretilen paspayları Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Üretilen beton paspayları.



Şekil 2.4. Beton paspayına donatı yerleşimi.

2.2.3. Taze Beton Deneyleri

2.2.3.1. Yoğunluk Deneyi

TS EN 12350-6 standartlarına uygun olarak taze betonda yoğunluk değerleri belirlenmiştir [30].

2.2.3.2. Yayılma apı Deneyi

TS EN 1015-3 standardına göre yapılan deneylerde ilgili numunelerin yayılma çapları belirlenmiştir [30]. Hazırlanan karışımlar sırasıyla sarsma tablasının i çapı 100 mm olan kesik koni şeklindeki kalıba iki aşamada tokmak ile yerleştirilip, harç numunesinin yüzeyi sıyırma bıçağı ile düzeltilip sonrasında kalıp çekilmiştir. Standartta tarif edildiğı üzere yapılan deney sonucunda taze harcın çapı birkaç yerden ölçülerek ortalaması alınmış ve işlenebilirlik sonuçları llmştir.



a)

b)



c)

şekil 2.5. Yayılma deneyi ölçümleri a) lm 1 b) lm 2 c) Numunenin yandan görünüşü.

2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.2.4.1. Yoğunluk Deneyi

Kalıptan çıkartılan paspayı numunelerinin sertleşmiş beton yoğunluğu deneyleri TS EN

12390-7 standardına uygun olarak yapılmıştır [31].

2.2.4.2. Su Emme Deneyi

Üretilen beton paspayı numunelerinin su emme deneyleri ASTM C 642 standartlarına uygun olarak yapılmıştır [32].

2.2.4.3. Basınç Dayanımı Deneyi

Üretilen 50x50x50 mm ebatlarındaki küp numunelerin basınç deneyleri TS EN 12390-3 standartlarına uygun olarak yapılmıştır [33]. Serilerin tümü için 3 adet küp numune alınmış, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür.

2.2.4.4. Yükleme Deneyi

Deneyler TS 13652'ye uygun olarak yapılmıştır [9]. Standartta belirtildiği üzere paspayı elemanları ve sehpa uygulama noktalarına göre, Hafif(L), Normal(N), Ağır(H) ve Sehpa(C) olmak üzere dört kategoriye ayrılır. Normal kategorisindeki paspayları, donatı çapı en fazla 20 mm olan donatılarda paspayı mesafesini korumak için kullanılır [32]. Bu çalışmada, normal (N) kategorisindeki beton paspayları üretimi hedeflenmiş olup, yükleme deneyi bu kategoriye uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 2.8. TS 13652 Paspayı elemanları ve sehpa kategorilere göre uygulama yerleri.

Paspayı elemanı ve sehpa kategorileri	Uygulama
Hafif (L)	Düşey yapı elemanlarında, düşey donatı veya herhangi yaya trafiğine maruz olmayan kesitlerdeki yatay donatı ile en yakın beton yüzeyi arasındaki paspayı mesafesinin korunması için kullanılır. 16 mm'den daha büyük çaplı donatılar için uygun değildir
Normal (N)	Donatı çapı en fazla 20 mm olan donatılarda paspayı mesafesinin korunması için kullanılır.
Ağır (H)	Donatı çapı 20 mm'den daha fazla olan donatılarda paspayı mesafesinin korunması için kullanılır.
Sehpa (C)	Döşemelerdeki üst donatıları, yeterli üst paspayı mesafesi sağlamak için desteklemek veya donatı tabakalarını ayırmak için kullanılır.

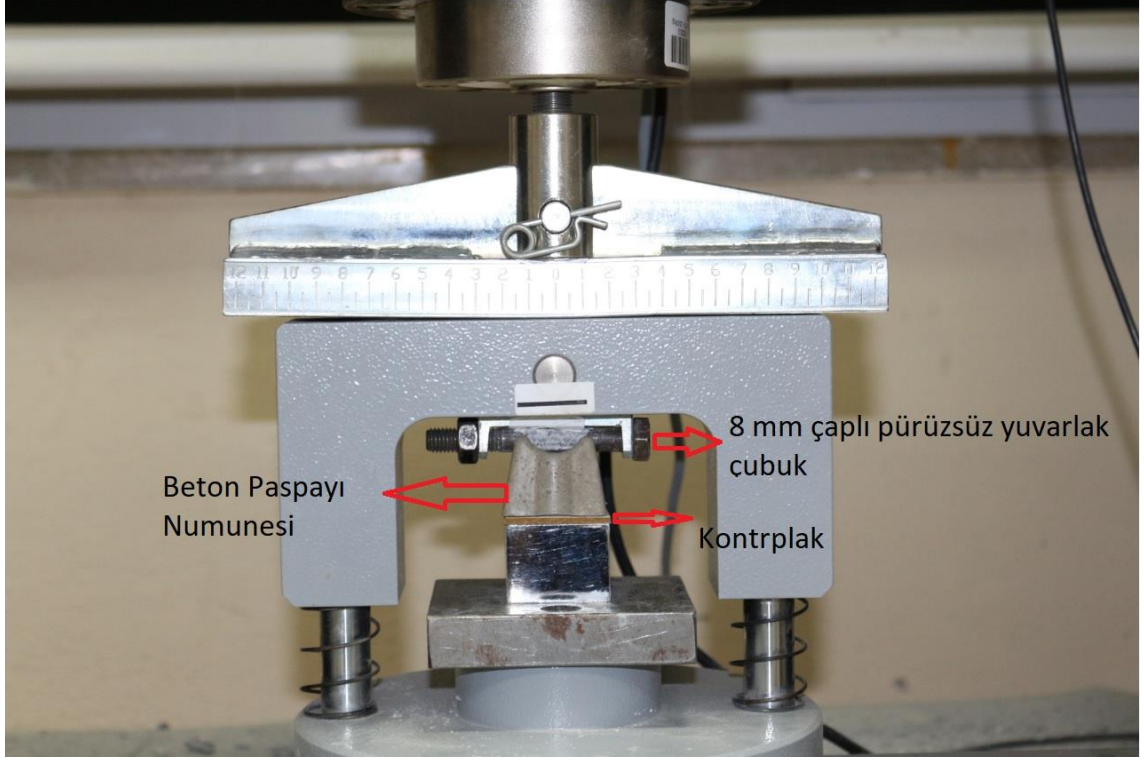
Yükleme deneyi TS 13652'de tarif edilen şu şekliyle yapılmıştır;

“Çimento bağlayıcılı paspayı elemanları, yükleme deneyi öncesinde su içerisinde yedi gün süreyle küre tabi tutulmalıdır. Çimento bağlayıcılı paspayı elemanları, $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta deneye tabi tutulur. Çimento bağlayıcılı paspayı elemanlarına 8 mm çaplı pürüzsüz yuvarlak çubuk vasıtası ile yük uygulanır. 0,50 kN yük en fazla 10 s sürede uygulanır. Uygulanan bu yük 10 dakika süreyle sabit tutulur. Yükün uygulandığı bu sürede toplam sehim ölçülür ve kaydedilir. Ardından deney yükü kaldırılır. Deneyden sonra, çimento bağlayıcılı paspayı elemanlarında görünür herhangi bir çatlak bulunmamalıdır. Deney sonrasında, paspayı elemanında yükleme çubuğu altında yerel pullanma meydana gelmesi çatlak olarak kabul edilmez [9].”

Yükleme deneyinde, 2,5 kN kapasiteli 0,0001 mm hassasiyetinde pozisyon ölçümü yapabilen Universal Servo Elektromekanik Test Cihazı kullanılmıştır. Yükleme hızı 50 N/s olacak şekilde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Test cihazı Şekil 2.6’da test düzeneği de Şekil 2.7’de görülmektedir.



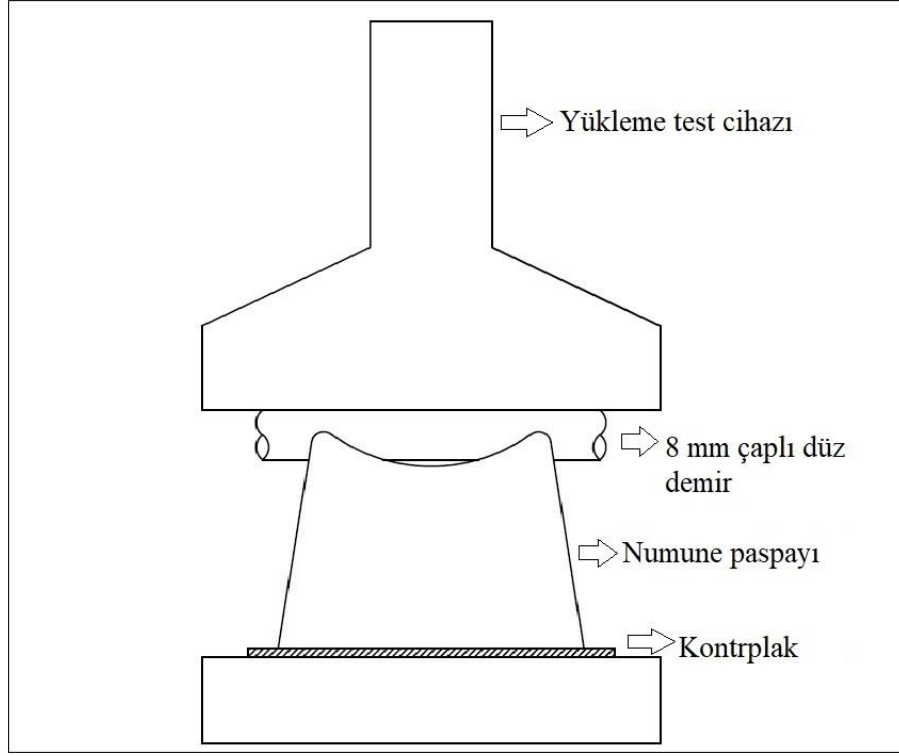
Şekil 2.6. Yükleme testi cihazı.



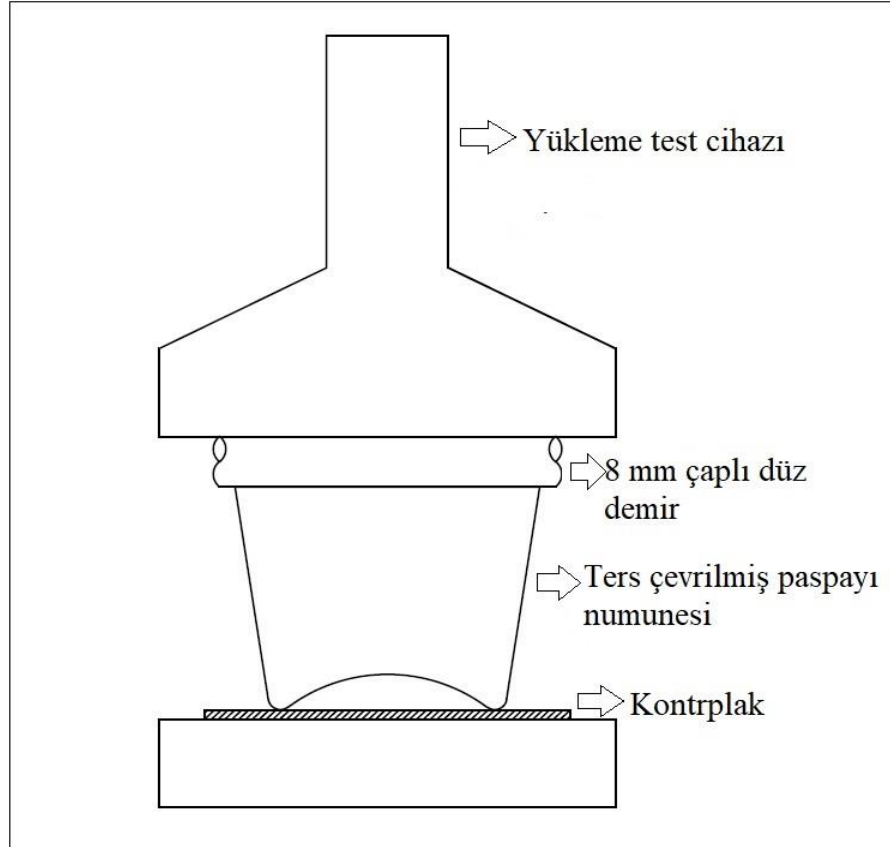
Şekil 2.7. Yükleme deneyi test düzeneği.

2.2.4.5. Maksimum Yük Kapasitesi Deneyi

TS 13652'ye uygun olarak beton paspayı numunelerinin maksimum yük kapasitesi deneyleri yapılmıştır [9]. Yükleme deneyinde kullanılan test düzeneğine uygun olarak numuneler kırılana kadar 50 N/s yük uygulanmıştır. Yükleme anında eş zamanlı olarak numunelerde meydana gelen yer değiştirme değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak yük-yer değiştirme eğrileri oluşturulmuştur. Daha sonra yük-yer değiştirme eğrileri altında kalan alan hesaplanarak tüketilen enerji miktarları elde edilmiştir. Bu amaçla maksimum yük kapasitesi deneyinde kullanılan iki farklı yükleme durumu (normal yükleme ve numunenin ters çevrilerek yapılan yükleme) ve 2.2.4.4 alt başlığında belirtilen yükleme deneyi ardından numunelerin kırılıncaya kadar tekrar yüklenmesi (ikincil yükleme) durumu deneylerde kullanılmıştır. Deneyler sırasındaki yükleme durumları Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Normal yükleme.



Şekil 2.9. Ters çevrilmiş (İkincil) yükleme.

3. BULGULAR

3.1. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI

3.1.1. Yoğunluk Deneyi

TS EN 12350-6 standartlarına uygun olarak yapılan taze betonda yoğunluk belirlenmesi deneyinin sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir [30].

Çizelge 3.1. Taze betonda numune yoğunlukları.

Seri	Yoğunluk (kg/dm ³)	Değişim (%)
Referans	2,282	0,00
UK10	2,277	-0,22
UK20	2,272	-0,44
YFC10	2,285	0,13
YFC20	2,287	0,25
UK10+YFC10	2,280	-0,09
UK20+YFC20	2,277	-0,19

Beton karışımlarının taze haldeki yoğunlukları incelendiğinde, 2,272 ile 2,287 kg/dm³ arasında değerler aldığı ve karışımların yoğunluklarının arasında kayda değer bir değişimin olmadığı gözlenmiştir.

3.1.2. Yayılma Deneyi

TS EN 1015-3 standardına göre yapılan deneylerde ölçülen yayılma değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir [34].

Çizelge 3.2. Yayılma deneyi sonuçları.

Seri	Ortalama Yayılma Çapı (mm)	Değişim (%)
Referans	152,5	0,00
UK10	171,5	12,46
UK20	205,5	34,75
YFC10	132,5	-13,11
YFC20	180,5	18,36
UK10+YFC10	181,0	18,69
UK20+YFC20	140,0	-8,20

Çizelge 3.2 incelendiğinde, referans numunelere göre UK10 ve UK20 serilerinde yayılma çapının sırasıyla %12,46 ve %34,75 oranında arttığı görülmüştür. Sabit S/C oranında, UK su ihtiyacını azaltmıştır ve UK'nin küresel yapısı sayesinde karışımların işlenebilirlik değerleri artmıştır. YFC10 serilerinde yayılma çapı %13,11 oranında azalırken, YFC20 serilerinde yayılma çapı %18,36 oranında artmaktadır. Çimento ağırlığının %10 oranında UK ve YFC'nin karıştırılması ile oluşan UK10+YFC10 serisinde %18,69 oranında yayılma çapı artarken, çimento ağırlığının %20 oranında UK ve YFC'nin karıştırılması ile oluşturulan UK20+YFC20 serisinde %8,20 oranında yayılma çapı azalmıştır.

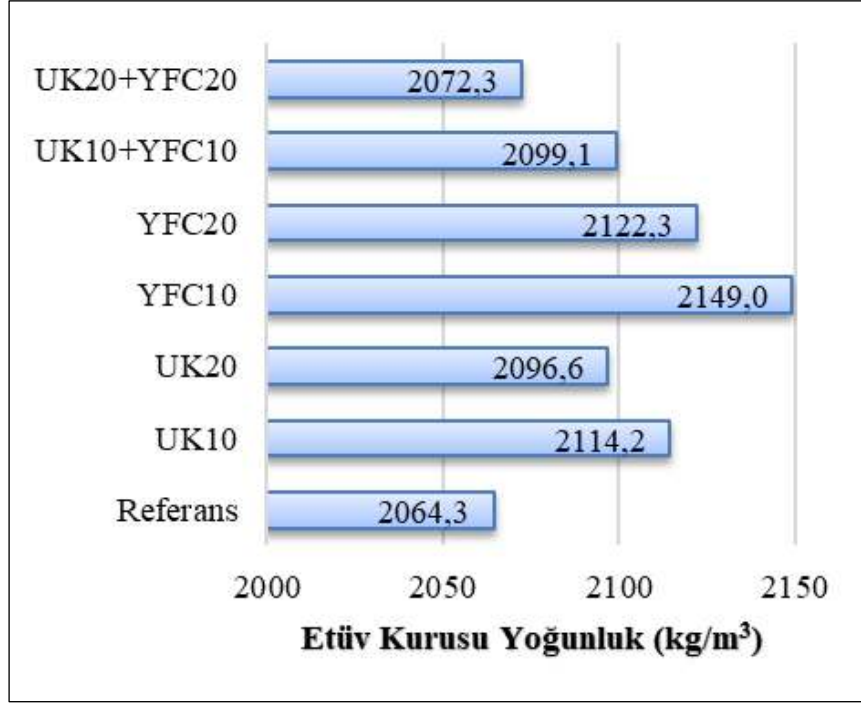
Bilindiği üzere, işlenebilirlik ve su ihtiyacı YFC'nin inceliğine ve miktarına göre değişmektedir. Beton karışımlara eklenen UK10, UK20, YFC20 ve UK10+YFC10 serileri referans numuneye göre, kalıplara rahat yerleştirilirken, YFC10 ve UK20+YFC20 serilerinde yerleştirme işlemi daha güç olmuştur.

3.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI

3.2.1. Yoğunluk Deneyi

TS EN 12390-7 standardına uygun olarak yapılan deney sonuçları Şekil 3.1'de

verilmiştir. Her seri için $59,8 \pm 1,3$ gr etüv kuru su ağırlığındaki 5 adet beton paspayı elemanı üzerinde deneyler gerçekleştirilerek ortalama sonuçlar verilmiştir [31].



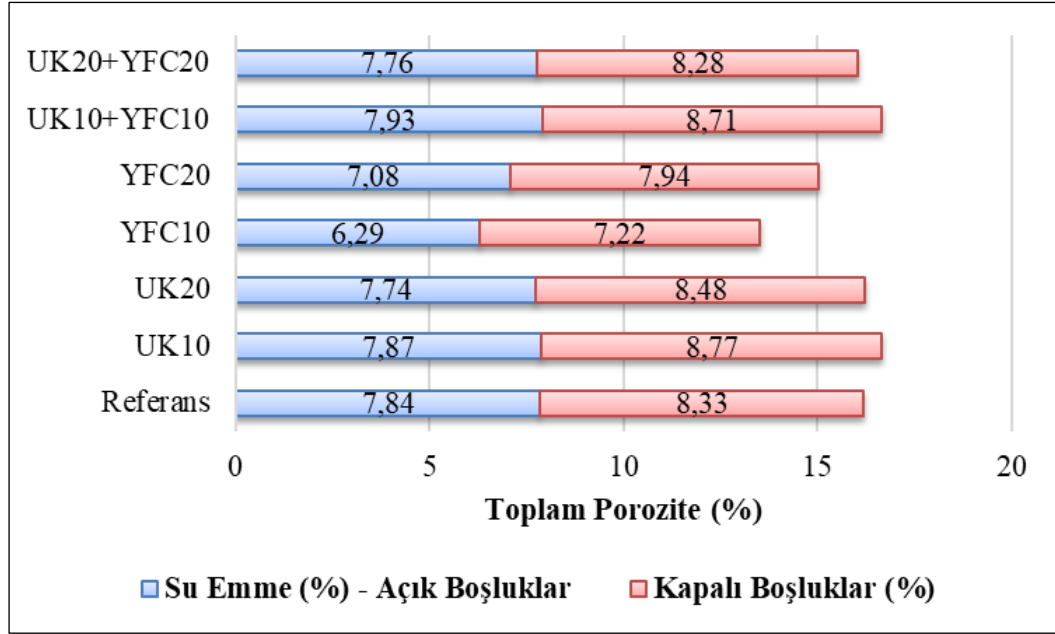
Şekil 3.1. Etüv kuru su yoğunluk.

Şekil 3.1 incelendiğinde, beton karışımların yoğunlukları 2064,3 kg/m³ ile 2149 kg/m³ arasında değerler aldığı görülmektedir. Referans seriye göre, diğer serilerin yoğunlukları, kullanılan UK ve YFC miktarına bağlı olarak artmıştır.

Elde edilen beton karışımlarının yoğunlukları 2000 kg/m³ değerinin üzerinde olup, TSE 206-1'e göre normal beton sınıfında olduğu belirlenmiştir [35].

3.2.2. Su Emme Deneyi

ASTM C 642 standartlarına uygun olarak yapılan deney sonuçları Şekil 3.2'de verilmiştir. Beton karışımların emdikleri su miktarı, porozite oranı kadar hem betondaki hem de agregalardaki gözeneklerin durumuna bağlı olarak değişmektedir. Gözenekler yarı açıksa veya tamamen kapalıysa beton daha az su emecektir [32].

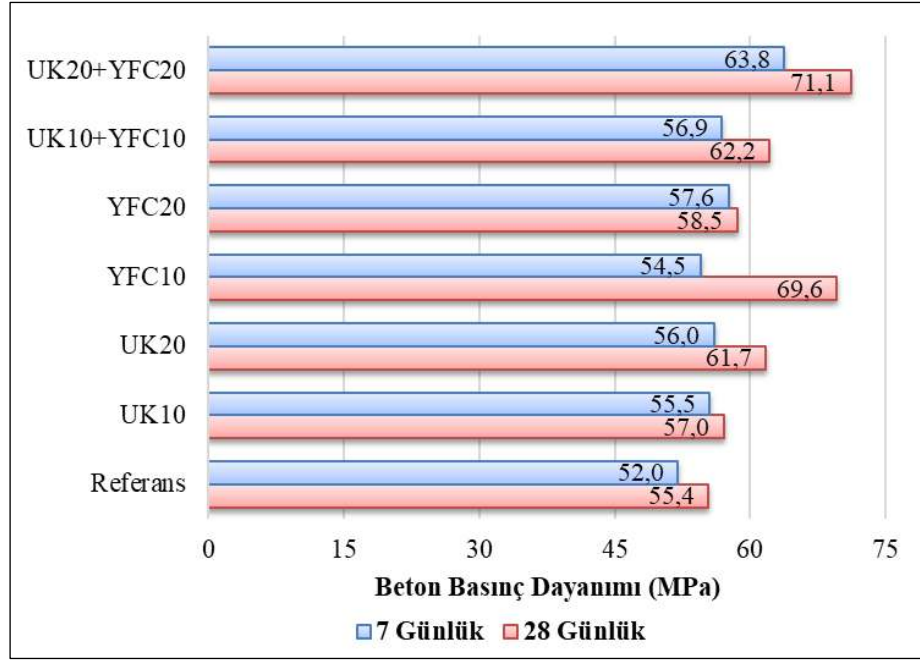


Şekil 3.2. Su emme ve görünen porozite.

Şekil 3.2 incelendiğinde, açık ve kapalı boşluklar toplamda %13,51 ile %16,64 oranları arasında değerler almaktadır. Su emme değerleri incelendiğinde, %6,29 ile %7,93 oranları arasında değerler alırken, kapalı boşlukların %7,22 ile %8,77 arasında değerler aldığı görülmektedir. Tüm serilerde yarı açık veya kapalı gözeneklerin, açık gözeneklerden daha fazla olduğu görülmektedir. YFC10 ile YFC20 serileri %6,29 ve %7,08 ile en düşük su emme değerlerini almışlardır.

3.2.3. Basınç Dayanımı Deneyi

TS EN 12390-3 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen beton karışımlarına ait 7 günlük ve 28 günlük ortalama beton basınç dayanımları Şekil 3.3'te verilmiştir [33]. Her beton karışımı için 3 adet 50x50x50 mm boyutlarındaki küp numunelerin ortalaması alınarak basınç dayanım değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.3. 7 günlük ve 28 günlük beton basınç dayanımı sonuçları.

7 günlük beton basınç dayanımları incelendiğinde, referans numuneye göre, diğer serilerin basınç dayanımları sırasıyla %6,9, %7,7, %4,9, %10,9, %9,4 ve %22,7 oranlarında daha yüksek olduğu görülmektedir.

28 günlük beton basınç dayanımları incelendiğinde ise, referans numuneye göre, diğer serilerin basınç dayanımları sırasıyla %3,0, %11,5, %25,7, %5,7, %12,3 ve %28,5 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 3.3 incelendiğinde, farklı oranlarda eklenen mineral katkıların 7 ve 28 günlük yaştaki beton basınç dayanımına olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. UK20+YFC20 serisi en yüksek beton basınç dayanımı değerlerini almıştır.

“28 günlük küp numune dayanımlarının en az 50 Mpa olmalıdır [9].” ifadesi TS 13652’de çimento bağlayıcılı paspayı elemanları için gerekli şartlar arasındadır. Sonuç olarak her beton karışımı bu şartı sağladığı için paspayı üretiminde kullanılmaları uygundur.

3.2.4. Yükleme Deneyi

Her seri için 3 adet beton paspayı numunesi üzerinde yükleme deneyi yapılmıştır. 10 dakika boyunca 0,5 kN yük uygulanmış ve deney boyunca kaydedilen toplam sehim değerleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yükleme deneyi sonuçları.

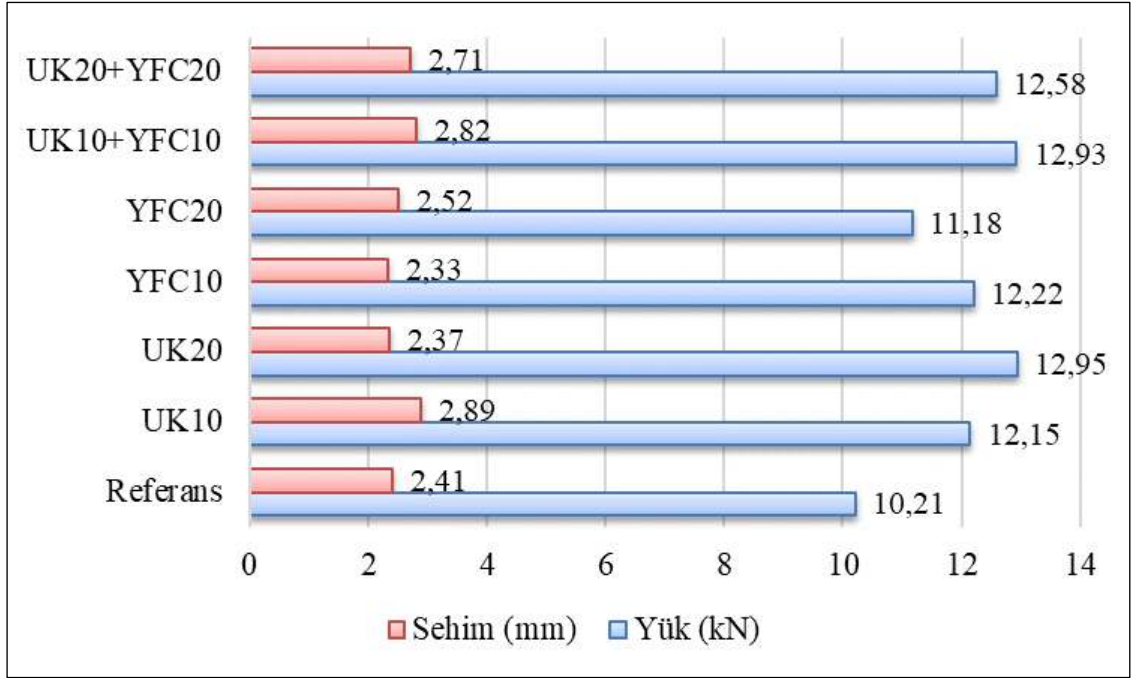
Seri	Toplam Sehim (mm)
Referans	0,37
UK10	0,22
UK20	0,25
YFC10	0,36
YFC20	0,24
UK10+YFC10	0,27
UK20+YFC20	0,36

Çizelge 3.3 incelendiğinde, toplam sehim değerlerinin 0,22 ile 0,37 mm arasında değerler aldığı görülmektedir. TS 13652’de:

“10 dakika sabit yük uygulanıp yük kaldırıldıktan sonra, çimento bağlayıcılı paspayı elemanlarında görünür herhangi bir çatlak bulunmamalıdır [9]” şartı mevcuttur. Üretilen beton paspaylarında herhangi bir çatlak meydana gelmemiştir. Bu sebeple tüm seriler bu şartı sağlamıştır.

3.2.5. Maksimum Yük Kapasitesi Deneyi

Her seri için 5 adet paspayı numunesi üzerinde yapılan maksimum yükleme deneyinin ortalama maksimum yük ve sehim değerleri Şekil 3.4’te verilmiştir.

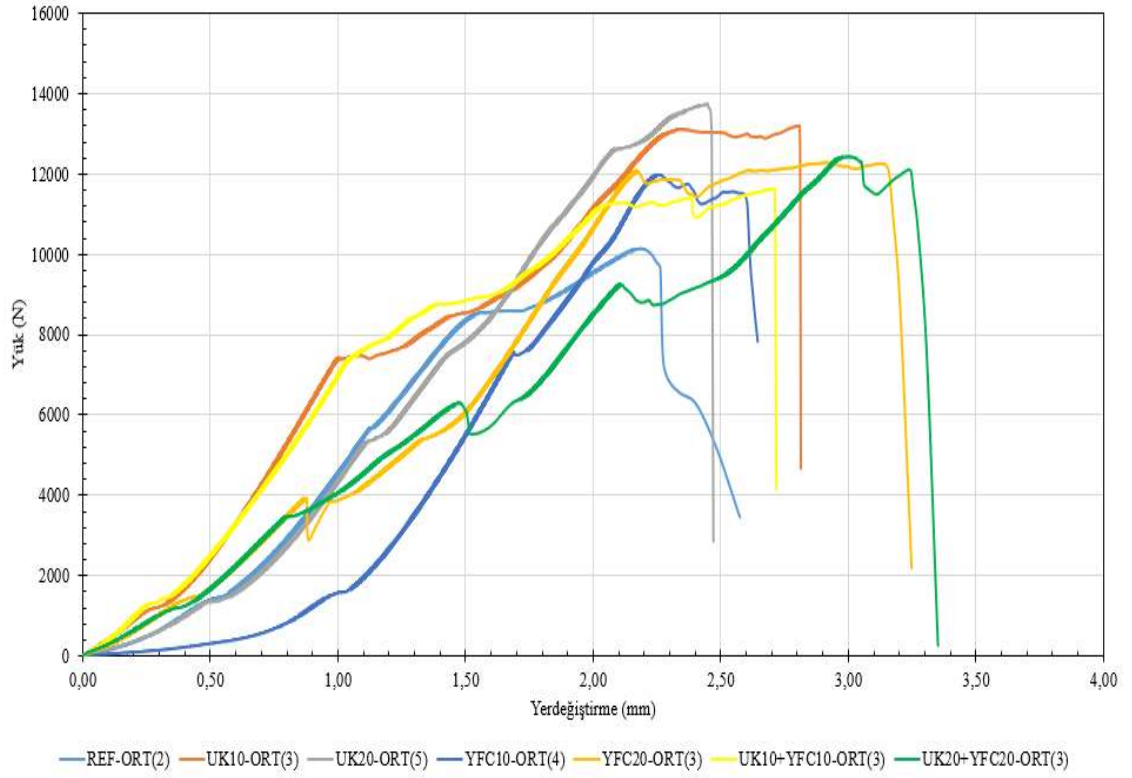


Şekil 3.4. Maksimum yük ve sehim değerleri.

Şekil 3.4 incelendiğinde, referans numuneye göre, diğer tüm serilerin taşıma kapasitesi UK10 serisinden başlayarak sırasıyla %19,0, %26,8, %19,6, %9,5, %26,6 ve %23,2 oranlarında arttığı görülmektedir. Mineral katkı kullanımıyla, yük taşıma kapasitesindeki artışla birlikte sehim değerlerinde de artış görülmektedir. Ancak YFC10 ve UK20 serilerinde ise yük taşıma kapasiteleri artarken sehim değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

3.2.6. Tüketilen Enerji

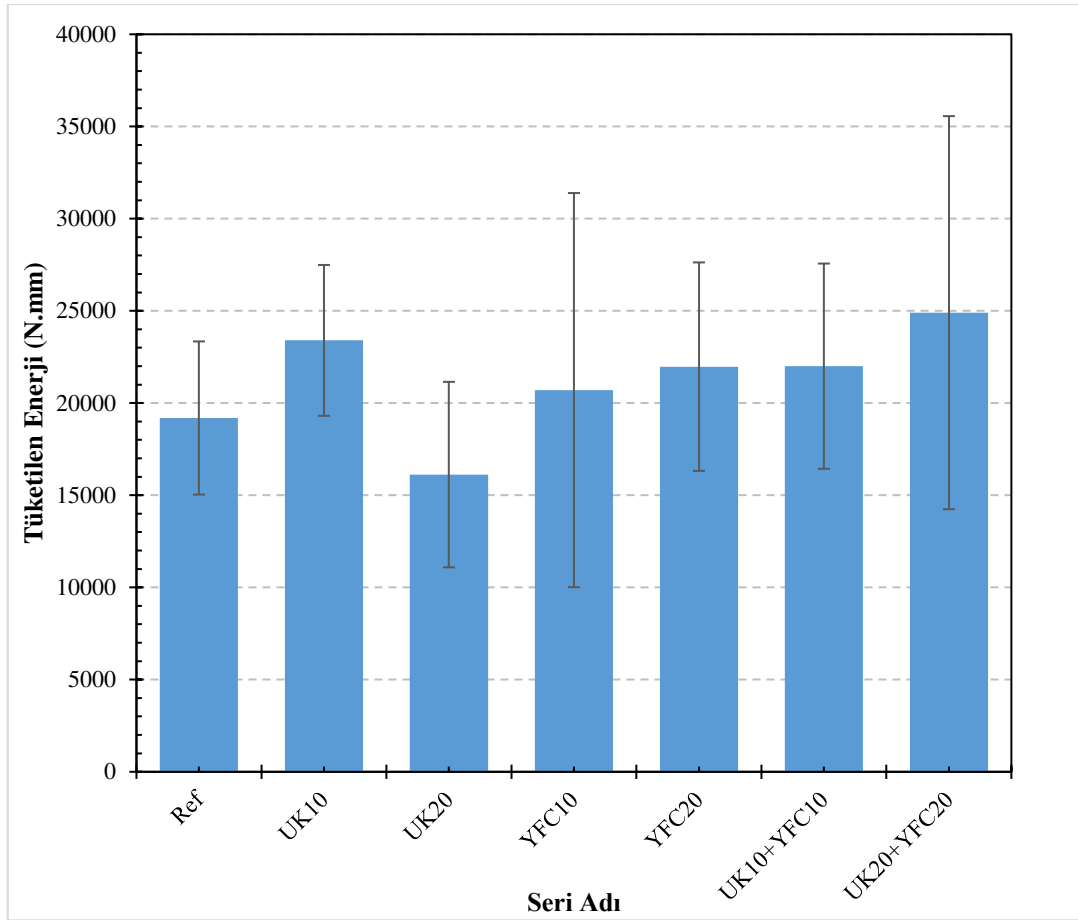
Yüklemeye deneyi ardından normal yüklemeye durumu için elde edilen yük-deplasman eğrisi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Normal yükleme durumu için yük-deplasman eğrileri (Grafik üzerindeki değerler ortanca/medyan numunelere aittir).

Beton paspaylarının normal yerleştirmesi ile yapılan yükleme deneyi sonuçlarına göre, 1 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerleri Şekil 3.5'te görülmektedir. Buna göre referans numuneye göre sonuç değerlerinin UK10, UK20, YFC10, YFC20, UK+YFC10, UK+YFC20 için sırasıyla, %64, %-2,6, %-65, %-13,9, %56 ve %-9 oranlarında değiştiği görülmektedir.

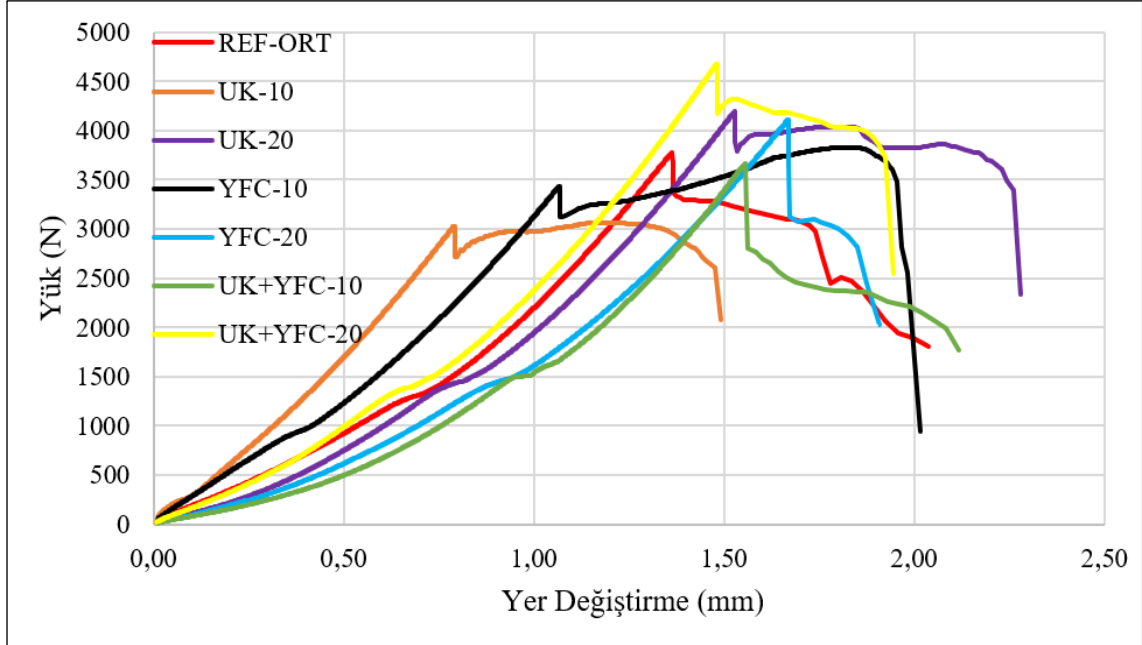
Normal yükleme durumu için her bir seride toplamda 5 numune üzerinde gerçekleştirilen yükleme deneyi sonucu hesaplanan ortalama tüketilen enerji değerlerine ait grafik Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Normal yükleme serilerine ait ortalama tüketilen enerji değerleri (Hata çubukları ± 1 standart sapma değerlerini ifade etmektedir).

Şekil 3.6 incelendiğinde yalnızca uçucu külün değerlendirildiği numunelerde UK miktarının artışına bağlı olarak tüketilen enerji değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Ancak UK10 serisinin tüketilen enerji değerinin referans seriye göre %21,9 daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Yalnızca YFC ve UK+YFC'nin değerlendirildiği serilerde elde edilen tüketilen enerji değerlerinin ise referans seriden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Genel anlamda YFC içeriğindeki artışa bağlı olarak numunelerin tüketilen enerji değerleri kademeli olarak artmıştır. %10 YFC, %20 YFC, %10UK+%10YFC ve %20UK+%20YFC kullanımı ile elde edilen tüketilen enerji değerlerinin referans numuneye göre sırası ile %7,88, %14,5, %14,65 ve %29,76 oranlarında fazla olduğu gözlenmiştir. En düşük tüketilen enerji değeri 16119,77 N.mm değeri ile UK20 serisinde, en yüksek tüketilen enerji değeri ise 24900,42 N.mm değeri ile UK20+YFC20 serisinde elde edilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde uçucu külün düşük oranlarda kullanımının ve YFC ile UK-YFC ikili karışımlarının beton paspaylarında tüketilen enerji değerlerine olumlu katkıları olduğu anlaşılmaktadır.

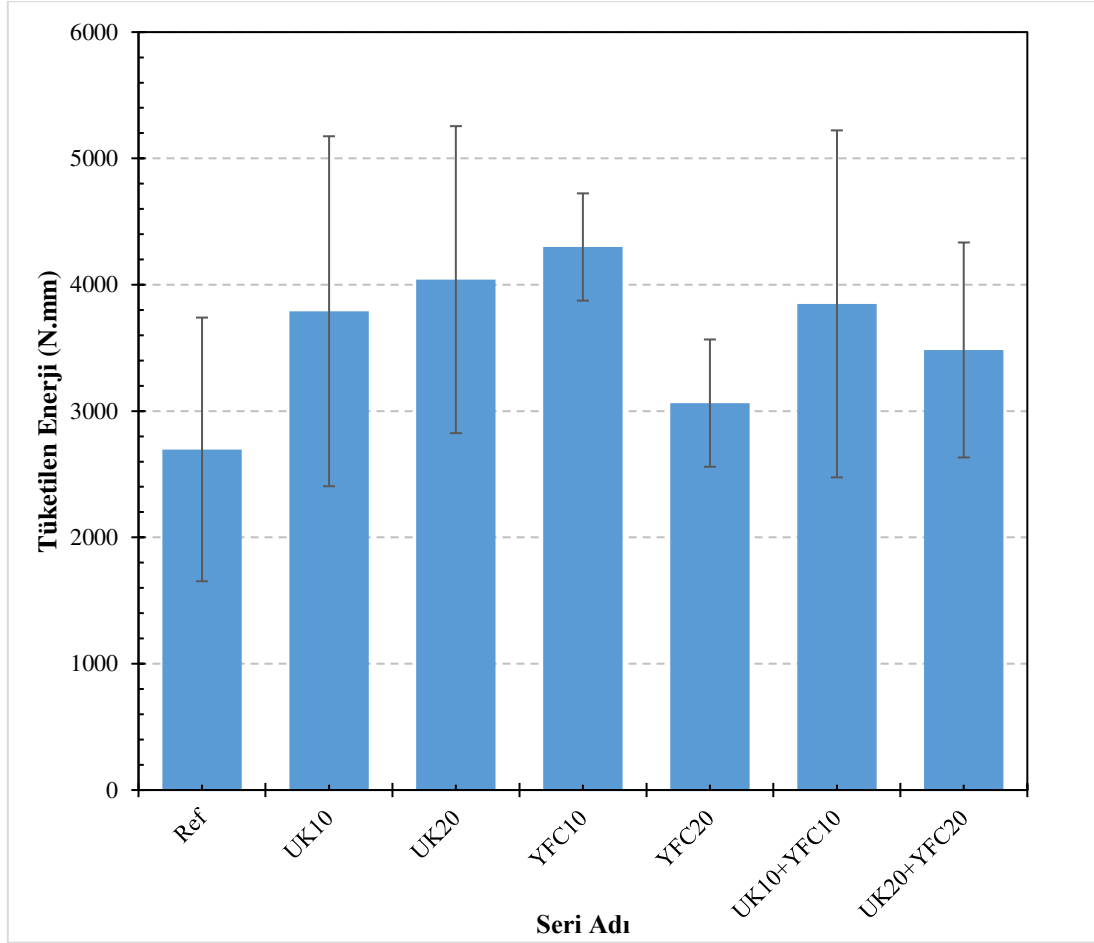
Yüklemeye deneyi ardından ters çevrilmiş numunenin yüklemeye durumu için elde edilen yük-deplasman eğrisi Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Ters çevrilmiş numune yüklemeye durumu için yük-deplasman eğrileri (Grafik üzerindeki değerler ortanca/medyan numunelere aittir).

Beton paspaylarının ters yerleştirmesi ile yapılan ters numune yüklemeye deneyi sonuçlarına göre, 1 mm yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerleri Şekil 3.7’de görülmektedir. Buna göre referans numuneye göre sonuç değerlerinin UK10, UK20, YFC10, YFC20, UK+YFC10, UK+YFC20 için sırasıyla, %36,40, %-11,50, %42,46, %-26,67, %-30,20 ve %8,21 oranlarında değiştiği görülmektedir.

Ters çevrilmiş numunenin yüklemeye durumu için her bir seride toplamda 5 numune üzerinde gerçekleştirilen yüklemeye deneyi sonucu hesaplanan ortalama tüketilen enerji değerlerine ait grafik Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Ter çevrilmiş numune serilerine ait ortalama tüketilen enerji değerleri (Hata çubukları ± 1 standart sapma değerlerini ifade etmektedir).

Şekil 3.8 incelendiğinde, puzolan kullanılan tüm numunelerin ters çevrilmiş numune yükleme durumu için referans numuneye göre daha yüksek tüketilen enerji değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yalnızca uçucu kül kullanımında uçucu kül miktarına bağlı olarak numunelerin tüketilen enerji değerleri kademeli olarak artış göstermiştir. Yalnızca YFC kullanılan numunelerde UK kullanımına zıt bir şekilde YFC içeriği arttıkça tüketilen enerji miktarlarında azalma meydana gelmiştir. UK ve YFC'nin ikili kombinasyonlu kullanımlarında benzer şekilde puzolan içeriği arttıkça tüketilen enerji değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. %10 UK, %20 UK, %10 YFC, %20 YFC, %10UK+%10YFC ve %20UK+%20YFC kullanımı ile elde edilen tüketilen enerji değerlerinin referans numuneye göre sırası ile %40,6, %49,8, %59,44, %13,6, %42,7 ve %29,2 oranlarında fazla olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.8 incelendiğinde en yüksek kırılma enerjisi değerini YFC10 serisinin verdiğini, en düşük değeri ise Referans serinin verdiğini görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çimento ile ikame edilmek üzere uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak biri referans olmak üzere yedi farklı seri beton numunesi kullanılarak üretilen beton paspayları üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki yargılar özetlenebilir.

Taze harç yayılma çapı değerleri açısından uçucu külün yalnızda kullanıldığı serilerde numunelerin kıvamlarının olumlu etkilendiği, %20 yüksek fırın cürufu kullanımında ise numunelerde kıvam kaybının gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Uçucu kül ile yüksek fırın cürufunun birlikte kullanıldığı üçlü karışımlarda ise %10 uçucu kül ve %10 yüksek fırın cürufu kullanılan serilerin yayılma çapı değerlerinin referans numuneye göre arttığı, %20 uçucu kül ve %20 yüksek fırın cürufu kullanılan serilerin yayılma çapı değerlerinin ise referans numuneye göre azaldığı gözlemlenmiştir.

Serilerin taze haldeki yoğunluklarının 2,272 ile 2,287 kg/dm³ arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Sertleşmiş beton yoğunluk değerleri incelendiğinde serilerin etüv kurusu yoğunluk değerlerinin 2060 ile 2150 kg/m³ arasında değiştiği görülmektedir. İkili ve üçlü karışımların etüv kurusu yoğunluk değerleri referans seriden daha yüksek çıkmıştır.

Karışımında uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun ikili ve üçlü karışım olarak değerlendirilmesi sonucunda numunelerin açık boşluk-su emme değerleri azalmıştır.

Hem 7 hem de 28 günlük basınç dayanımı değerleri açısından uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanımı ile numunelerin basınç dayanımı değerleri referans numuneye göre artış göstermiştir. Kullanılan puzolanların ileri yaşlarda dayanıma daha da olumlu etkilerinin olacağı düşünülmektedir.

7 günlük basınç dayanımları açısından referans numuneye oranla en büyük değeri 63,8 MPa'lık değerle UK20+YFC20 serisi vermiş, 28 günlük basınç dayanımında da 71,1 MPa'lık değerle yine UK20+YFC20 serisi en büyük basınç dayanım değerini vermiştir.

28 günlük basınç dayanım değerleri açısından tüm serilerin TS 13652 standardında belirtilen minimum 50 MPa'lık dayanım limitinin üzerinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

0,5 kN'luk yük değerinin 10 dakika boyunca uygulandığı yükleme deneyi sonucunda

numunelerde meydana gelen maksimum seh m değerlerinin 0,22 ile 0,37 mm arasında değiştiği ve deney sonucunda hiçbir seride çatlak oluşumu gözlenmediği belirlenmiştir. Bu anlamda yine TS 13652’de belirtilen çatlak oluşmama kriterinin tüm serilerde sağlandığı anlaşılmaktadır.

Referans seri ile kıyaslandığında en büyük taşıma kapasitesi değerini %26,80 ile UK20 serisi alırken, en düşük değeri %9,5 ile YFC20 serisinin aldığı görülmektedir.

Yükleme testi sonrasında numunelerin yük deplasman eğrileri altında kalan alanın hesaplanması ile elde edilen tüketilen enerji değerleri açısından UK 10 serisinin referans numuneye oranla %21,9 daha yüksek bir değer aldığı anlaşılmaktadır. %20 uçucu külün değerlendirildiği UK20 serisinin tüketilen enerji değerlerinin referans numuneye göre azaldığı tespit edilirken uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kullanıldığı tüm serilerin tüketilen enerji değerleri referans numuneye göre artış göstermiştir.

Sonuc olarak, üretilen beton paspayı elemanlarının tümü ilgili standartların gerektirdiği minimum koşulları sağlamış ve basınç dayanımı açısından en yüksek performans   ucu kül ile yüksek fırın cürufunun ikili kombinasyonunun elde ettiği g r lm ştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda durabilite özellikleri ve sürdürebilirlik açısından silis dumanı vb. farklı puzolanların beton paspayı üretiminde kullanılabilirliği araştırılabilir.

Puzolan kullanımı sonucunda uzun dönem dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin çalışılmasının numunelerin uzun dönem performanslarının belirlenmesi açısından faydalı olacağı önerilmektedir.

Yapılacak yeni çalışmalarda, geleneksel  n döküm üretim dışında kendiliğinden yerleşen beton ve ekstrüzyon beton uygulamalarının değerlendirilmesinin fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Karışımların süneklik ve tokluk değerlerinin iyileştirilmesi açısından doğal veya yapay liflerin kullanımı fayda sağlayacaktır.

5. KAYNAKLAR

- [1] G. C. Mays, *Durability of Concrete Structures: Investigation, Repair, Protection*, 1. baskı, London, United Kingdom: E and FN Spon, 1992.
- [2] T. Akakın, C. Kılınç, A. Işık ve H. Zengin, “Hazır Beton Sektörü ve Beton Kullanımındaki Gelişmeler”, *HazırBeton*, c. Mart-Nisan, ss. 66–72, 2013.
- [3] A. Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, 16. baskı. İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2019, ss. 3-53.
- [4] B. Elsener ve U. M. Angst, “Corrosion of steel in concrete: New challenges,” *Encyclopedia of Interfacial Chemistry*, Elsevier, ss. 183-191, 2018.
- [5] B. Postacıoğlu, *Beton*, İstanbul, Türkiye: Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1987.
- [6] B. Baradan, H. Yazıcı ve S. Aydın, *Beton*, 2. baskı, İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2015.
- [7] P. Taylor, P. Tennis, K. Obla, P. Ram, T. Van Dam ve H. Dylla, “*Durability of Concrete*”, 2. baskı, Washington, USA: Transportation Research Circular E-C171, 2013.
- [8] F. Özalp, “Kür koşulları ve yalıtımın yüksek dayanımlı betonların geçirimsizlik, iç-yapı ve mekanik özelliklerine etkileri”, Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [9] *Paspayı ve destek elemanları-betonarme çelik donatısında kullanım için özellikler ve performans gerekleri*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 13652, 2015.
- [10] S. Alzyoud, H. S. Wong ve N. R. Buenfeld, “Influence of reinforcement spacers on mass transport properties and durability of concrete structures”, *Cement Concrete Research*, c. 87, sayı September, ss. 31–44, 2016.
- [11] R. Rayner, “Concrete spacers,” *Concrete*, c. 39, sayı 4, ss. 31, 2005.
- [12] S. Alzyoud, “Effect of reinforcement spacers on concrete microstructure and durability”, Doktora tezi, Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London, United Kingdom, 2015.
- [13] Anonim, (2021, 12 Ağustos). [Online]. Erişim: <http://www.theroegroup.com/steel-reinforcement-spacers-and-accessories-pc3>.
- [14] M. Levitt, “*Precast Concrete: Materials, Manufacture, Properties and Usage*”, 1. baskı, London, UK: CRC Press, 1982, ss. 1-234.
- [15] M. Levitt ve M. R. M. Herbert, “Performance of spacers in reinforced concrete”, *Civil Engineering*, c. 575, ss. 1–5, 1970.
- [16] Anonim, (2021, 12 Ağustos). [Online]. Erişim: <https://www.betonpaspayı.com>.
- [17] *Beton yapıların tasarımı-Bölüm 1-1: Genel kurallar ve binalara uygulanacak kurallar (Eurocode2)*, Türk Standardı TS EN 1992-1-1, 2009.
- [18] *Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures*,

- Turkish Standards Institution TS 500, 2000.
- [19] B. Baradan ve S. Aydın, “Betonun d rabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık)”, *Hazır Beton*, c. Kasım-Aralık, ss. 54–68, 2013.
- [20] A. Beglarigale, H. Yiğiter, H. Yazıcı, A. H. Aytaç ve H. L. Sevin, “Donatı korozyonunun gerçek deniz ortamında incelenmesi”, *Hazır Beton*, c. Mayıs-Haziran, ss. 70–77, 2020.
- [21] N. Subramanian ve K. Geetha, “Concrete cover for durable RC structures”, *Indian Concrete Journal*, c. 71, sayı 4, ss. 197–201, 1997.
- [22] S. Subaşı ve M. Arslan, “Kalıp yüzey özelliklerinin betonun karbonatlaşması üzerine etkileri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, sayı 4, ss. 913–921, 2008.
- [23] A. Zeybek, “Betonarme kolonların yangın koşullarında tasarımı ve kontrolü”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliğı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [24] E. Ünlüoğlu, İ. B. Topçu ve B. Yalaman, “Yüksek sıcaklıkta kalmış yapılar  pas payının betonarme  elik donatı özelliklerine etkisi”, *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, sayı 273, ss. 4145–4155, 2007.
- [25] M. Akyürek, “Yüksek sıcaklığı maruz FRP donatılı betonlarda paspayı ve beton dayanımının etkisi”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliğı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.
- [26] S. Kenai ve R. Bahar, “Evaluation and repair of algiers new airport building”, *Cement and Concrete Composites*, c. 25, sayı 6, ss. 633–641, 2003.
- [27] *Methods of testing cement–Part 1: Determination of strength*, c. 26. , Turkish Standards Institution TS EN 196-1, 2016.
- [28] *Cement Part 1: Composition specification and conformity criteria for common cements*, Turkish Standards Institution TS EN 197-1, 2012.
- [29] *Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout-Part*, c. 1. Türk Standardları Enstitüsü 15167-1, 2006.
- [30] *Testing fresh concrete-Part 6: Density*, Turkish Standards Institution 12350-6, 2019.
- [31] *Testing hardened concrete-Part*, c. 7. TS EN 12390-7, 2019.
- [32] *Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*. American Society for Testing and Material, ASTM C. 642-13, 2013.
- [33] *Testing hardened concrete-Part 3, Compressive strength of test specimens*, Turkish Standardization Institute TS EN 12390/3, 2010.
- [34] *Methods of test for mortar for masonry-Part*, c. 3. Turkish Standards Institution TS EN 1015-3/A2, 2007.
- [35] *Beton- zellik, performans, imal t ve uygunluk*. Türk Standardları Enstitüsü TS EN 206 : 2013+ A1, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sait AYDIN

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	2020
Lisans	Yapı Öğretmenliği	Fırat Üniversitesi	2006
Lise		Kdz Ereğli İ.H. Lisesi	2000