

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÖĞÜTÜLMÜŞ POMZA KULLANILARAK ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN LİFLİ BETONLARDA
YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ**

Murat DENER

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ

TEMMUZ-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖĞÜTÜLMÜŞ POMZA KULLANILARAK ÜRETİLEN KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN LİFLİ BETONLARDA YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Murat DENER
151115101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12/07/2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 27/07/2017

Tez Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BENLİ (B.Ü)

TEMMUZ-2017

ÖNSÖZ

Bu tezin önerilmesinde ve hazırlanmasında benden desteğini hiç esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ'a, çalışmam boyunca bilgisine sürekli başvurduğum Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehrzad Mohabbi YADOLLAHI'ye, laboratuvar ve tez yazım sürecinde yardımını esirgemeyen Arş.Gör. Bilal BALUN'a, laboratuvarında yardımcı olan Bingöl Üniversitesi İnşaat Mühendisliği öğrencileri Mehmet Ali AĞUŞ, Yusuf BURKAY ve Mürsel BAYINDIR'a ve sürekli yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Murat DENER

Elazığ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER	XI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR	3
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton	3
2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Tarihsel Gelişimi	3
2.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bileşenleri.....	4
2.1.2.1. Çimento	4
2.1.2.2. Agregas	5
2.1.2.3. Karışım Suyu	6
2.1.2.4. Katkıları	6
2.1.2.4.1. Kimyasal Katkıları.....	6
2.1.2.4.2. Mineral Katkıları	7
2.2. Pomza	8
2.2.1. İnşaat Sektöründe Pomza Kullanımı	9
2.2.2. Mineral Katkı Olarak Öğütölmüş Pomza	9
2.2.3. Pomza İle İlgili Yapılan Çalışmalar	10
2.3. Çelik Lif.....	11
2.3.1. Çelik Lif Çeşitleri	12
2.3.2. Çelik Lifli Beton.....	13
2.4. Yüksek Sıcaklık.....	14
2.4.1. Yüksek Sıcaklıklarda Betonun Yapısı Ve Davranışı.....	14
2.4.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar	15

3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	17
3.1.	Deneyde Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri	17
3.1.1.	Portland Çimentosu	17
3.1.2.	Agrega	18
3.1.3.	Su	19
3.1.4.	Kimyasal Katkılar	19
3.1.5.	Mineral Katkılar	20
3.1.6.	Çelik Lif.....	20
3.2.	Deneyde Kullanılan Aletler	21
3.2.1.	Beton Mikseri	21
3.2.2.	Yüksek Sıcaklık Fırını	22
3.2.3.	Beton Test Numuneleri Deney Presi	22
3.2.4.	UPV Ölçüm Cihazı.....	22
3.3.	Karışım Hesabı	23
3.3.1.	Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi	24
3.3.2.	Beton Üretimi	24
3.4.	KYB’de Uygulanan Taze Beton Deneyleri	25
3.4.1.	Çökme Yayılma Deneyi	25
3.4.2.	V Hunusi Akış Deneyi.....	26
3.4.3.	L Kutusu Deneyi.....	26
3.5.	Sertleşmiş Betonda Uygulanan Deneyler	27
3.5.1.	Yoğunluk, Su Emme ve Porozite Deneyi	27
3.5.2.	Yüksek Sıcaklık Deneyi	28
3.5.3.	Ultrasonik Hız Ölçümü(UPV)	30
3.5.4.	Basınç ve Eğilme Deneyi	30
4.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	32
4.1.	Taze Beton Deney Sonuçları	32
4.1.1.	Çökme-Yayılma Deneyi Sonuçları.....	32
4.1.2.	V Hunisi Deney Sonuçları	34
4.2.	Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	35
4.2.1.	Yoğunluk, Su Emme ve Porozite Deney Sonuçları.....	35
4.2.2.	Ultrasonik Hız Deneyi Sonuçları.....	39
4.2.3.	Basınç ve Eğilme Deneyi Sonuçları	44

4.2.4.	Çelik Liflerin Beton İçerisindeki Mikroskopik Görüntüsü	48
4.2.5.	UPV Hızı-Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki	58
5.	SONUÇLAR	62
	KAYNAKLAR	65
	ÖZGEÇMİŞ	70



ÖZET

Bu tez çalışmasında öğütülmüş pomza tozu (ÖPT) ile üretilen kendiliğinden yerleşen lifli betonlarda (KYB) yüksek sıcaklık etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda kontrol karışımı ile birlikte %5, %10, %15 ve %20 ÖPT ikameli olmak üzere 5 seri beton numuneleri üretilmiştir. Tüm karışımlarda çelik lif, süper akışkanlaştırıcı ve su/bağlayıcı malzeme oranı sabit tutulmuştur. Farklı kür sürelerinde bekletilmek üzere 60 adet 150*150*150 mm ve 18 adet 100*100*100 mm boyutunda küp numuneler ile 100*100*350 mm boyutunda kiriş numuneler dökülmüştür. Tüm karışımların çeşitli kür sürelerinden sonra ultrases ölçümleri ve basınç deneyleri yapılmıştır. Numuneler 28 günlük kür süresinden sonra 200 °C, 400 °C, 600°C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra numunelerin tekrar basınç deneyleri ve ultrases ölçümleri yapılmıştır. Yüksek sıcaklıklardan sonra çelik liflerin beton içerisindeki görüntüleri incelenmiştir. Yüksek sıcaklıklardan sonra ÖPT kullanılan karışımların basınç dayanımlarındaki azalma kontrol karışımına göre daha fazla olmuştur. Tüm karışımların Ultrases hızlarındaki azalma oranları birbirine yakın olmuştur. Maruz kalınan en yüksek sıcaklık değeri 800 °C' den sonra dahi beton numunelerinin hiç birinde parçalanma meydana gelmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Lifli Beton, Kendiliğinden Yerleşen Beton Öğütülmüş Pomza Tozu, Yüksek Sıcaklık, Basınç Dayanımı, İşlenebilirlik

SUMMARY

The High Temperature Effect on The Fiber Reinforced Self Compacting Concrete Produced With Milled Pumice Powder

In this thesis, high temperature effect was investigated in steel fiber reinforced self compacting concrete produced with milled pumice powder(MPP). For this purpose, %5, %10, %15, %20 ÖPT mixtures and control concrete, total of 5 series concrete samples were produced. The ratio of steel fibers, superplasticizer and water/powder material were kept constant in all blends. 60 pieces of 150 mm *150 mm *150 mm and 18 pieces of 100 mm * 100 * 100 mm cube specimens and 18 pieces of 100 mm * 100 * 350 mm beam specimens were poured to keep at different curing periods. UPV measurements and compressive strength experiments were performed after different curing periods of all blends. The specimens were exposed to high temperatures of 200 °C, 400 °C, 600 °C and 800 °C after 28 days of curing. After exposure to high temperature, compressive strengths and UPV measurements of the specimens were performed. Also, microscopic images of steel fibers in concrete were analyzed after high temperatures. After high temperatures; the decrease in the compressive strength of mixtures using MPP is higher than control mixtures. Reduction rates of all blends at UPV are close to each other. Even at highest temperature value which is 800 °C disintegration did not occur.

Keywords: Steel Fiber Reinforced Self Compacting Concrete, Self Compacting Concrete, Milled Pumice Powder, High Temperature, Compressive Strength, Workability

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Düz pürüzsüz yüzeyli teller	12
Şekil 2.2. Üzerinde girintiler(çentikler) açılmamış teller	12
Şekil 2.3. Uzunluğu boyunca dalgalı(kıvrımlı) teller	13
Şekil 2.4. Ay biçimi dalgalı teller	13
Şekil 2.5. İki ucu kıvrılmış teller	13
Şekil 2.6. Bir ucu kıvrılmış teller.....	13
Şekil 3.1. Beton agregasının granülometri eğrileri	19
Şekil 3.2. 3D türündeki çelik lif.....	21
Şekil 3.3. Beton mikseri.....	21
Şekil 3.4. Yüksek sıcaklık fırını.....	22
Şekil 3.5. Pres	22
Şekil 3.6. UPV cihazı.....	23
Şekil 3.7. L kutusu deney seti	26
Şekil 4.1. Yayılma çapı sonuçları	32
Şekil 4.2. T50'ye ulaşma süresi sonuçları	33
Şekil 4.3. ÖPT0 ve ÖPT5 yayılma tablası	33
Şekil 4.4. ÖPT10 ve ÖPT15 yayılma tablası	34
Şekil 4.5. ÖPT20 yayılma tablası	34
Şekil 4.6. V hunisi deneyi.....	34
Şekil 4.7. Yoğunluk değerleri	36
Şekil 4.8. Porozite değerleri.....	36
Şekil 4.9. Farklı kür sürelerinde yüksek sıcaklık öncesi UPV ölçümleri	40
Şekil 4.10. Farklı kür sürelerinde ÖPT oranı ve UPV hızı arasındaki korelasyon katsayıları.....	41
Şekil 4.11. Farklı sıcaklıklarda UPV ölçümleri(28 günlük kür süresi).....	41
Şekil 4.12. UPV değerlerinin değişim oranları (%).....	42
Şekil 4.13. Farklı kür sürelerinde yüksek sıcaklık öncesi basınç değerleri	44
Şekil 4.14. Farklı kür sürelerinde ÖPT oranı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları.....	45
Şekil 4.15. Farklı sıcaklıklarda basınç dayanımları (28 günlük kür süresi).....	45

Şekil 4.16. Basınç dayanımlarının değişim oranları (%)	46
Şekil 4.17. Farklı sıcaklıklarda ÖPT oranı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları.....	47
Şekil 4.18. Eğilme dayanımları(28 günlük kür süresi)	47
Şekil 4.19. 600 °C sıcaklıktan sonra beton numunesi.....	49
Şekil 4.20. 800 °C sıcaklıktan sonra beton numunesi.....	49
Şekil 4.21. 800 °C’de beton içerisindeki çelik liflerin görüntüsü.....	50
Şekil 4.22. 600 °C’de beton içerisindeki çelik liflerin görüntüsü.....	50
Şekil 4.23. 400 °C’de beton içerisindeki çelik liflerin görüntüsü.....	51
Şekil 4.24. Yüksek sıcaklığa maruz kalmayan beton numunesi.....	52
Şekil 4.25. Yüksek sıcaklığa maruz kalmayan beton numunesi.....	52
Şekil 4.26. 200 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	53
Şekil 4.27. 200 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	53
Şekil 4.28. 400 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	54
Şekil 4.29. 400 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	54
Şekil 4.30. 600 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	55
Şekil 4.31. 600 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	56
Şekil 4.32. 800 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	56
Şekil 4.33. 800 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	57
Şekil 4.34. 800 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi.....	57
Şekil 4.35. Farklı kür sürelerinde UPV hızları	58
Şekil 4.36. Farklı kür sürelerinde basınç dayanımı	59
Şekil 4.37. Farklı kür sürelerinde UPV hızı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları.....	60
Şekil 4.38. Farklı sıcaklıklarda UPV hızları ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları.....	61

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Çimentonun kimyasal ve fiziksel bileşenleri	18
Tablo 3.2 Akışkanlaştırıcının kimyasal yapısı	19
Tablo 3.3 Pomzanın kimyasal bileşenleri.....	20
Tablo 3.4 Çelik lifin teknik özellikleri	21
Tablo 3.5 Beton karışım tablosu.....	24
Tablo 3.6 KYB'nin sağlaması gereken kriterler.....	25
Tablo 4.1 Pearson korelasyon katsayısının yorumu	35
Tablo 4.2 UPV ölçüm yöntemi ile beton kalitesinin değerlendirilmesi	39

SEMBOLLER

V_{ag}	: 1 m ³ betonda kum hacmi (dm ³)
$\mathcal{C}$	: 1 m ³ betonda çimento kütlesi (kg)
$\mathcal{OPT}$	: 1 m ³ betonda pomza tozu kütlesi (kg)
SA	: 1 m ³ betonda süper akışkanlaştırıcı kütlesi (kg)
W	: 1 m ³ betonda su kütlesi (kg)
$\gamma_{\mathcal{C}}$	: Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm ³)
$\gamma_{\mathcal{opt}}$	: Pomza tozunun özgül ağırlığı (kg/dm ³)
γ_{sa}	: Süper akışkanlaştırıcının özgül ağırlığı (kg/dm ³)
γ_w	: Suyun özgül ağırlığı (kg/dm ³)
A	: 1 m ³ betonda hava hacmi (dm ³)
T_{50}	: Betonun 50 cm çapa ulaşma süresi

KISALTMALAR LİSTESİ

- CSH** : Kalsiyum-Silika-Hidrat
KYB : Kendiliğinden Yerleşen Beton
ÖPT : Öğütülmüş Pomza Tozu
PÇ : Portland Çimentosu
SA : Süper Akışkanlaştırıcı
SEM : Scanning Electron Microscope
UK : Uçucu Kül
UPV : Ultrasonic Pulse Velocity

1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve istenildiği durumlarda farklı katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Beton agregaları, minerallerden oluşmuş taneli malzeme şeklindedir. Normal ağırlıklı betonlarda en çok kullanılan agrega türleri kum, kırma taş ve çakıldır. Türk standartları 4 mm boyutundaki elekten geçebilen malzemeyi ince agrega olarak tanımlarken 4 mm boyutundaki eleğin üzerinde kalan agregayı iri agrega olarak tanımlamaktadır. Betonun bir diğer ana bileşeni olan çimento; bağlayıcı özelliği ile agrega tanelerini bir arada tutar. Çimento bu bağlayıcılık özelliğini su ile karıldıktan sonra elde eder. Bu karılma işleminden sonra elde edilen malzeme çimento hamuru olarak adlandırılmaktadır. Çimentonun amacı; iri ve ince agrega tanelerini bir arada tutup agregalar ile birlikte kompoze bir madde oluşturmaktır [1]. Beton üretebilmek için şart olan agrega, çimento ve suyun yanısıra; betondan arzu edilen performansı almak için farklı kimyasal ve mineral katkıları da kullanılmaktadır.

Beton kullanımında zamanla yeni ihtiyaçların ortaya çıkması ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte yüksek dayanımlı beton; kendiliğinden yerleşen beton ve hafif beton gibi yeni özellikte betonlar üretilmeye başlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton(KYB); kendi ağırlığı ile döküldüğü kaba yerleşir ve vibratör kullanmaya gerek olmaksızın en sık donatılı kısımlarda ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu çıkarır. Böylece sıkışarak seviyelenebilme özelliği kazanan KYB; sık tercih edilen oldukça akıcı kıvamlı bir beton türüdür [2]. Klasik betondan farklı olarak KYB'den taze halde iken beklenen akıcılık ve işlenebilirlik gibi özel performanslar nedeniyle; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve çok miktarda inert veya Puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması kaçınılmaz olmaktadır [3]. KYB'de iri agrega miktarının geleneksel betona göre sınırlı miktarda olması da istenilen akıcılığı sağlamada önemli bir rol oynar.

KYB'lerde arzu edilen yüksek akışkanlığın elde edilebilmesi için karışımda yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar kullanılır. Ancak bu tür kimyasal katkıları KYB'lerde kullanılırken uygun oranlarda kullanılmalıdır. Aksi biçimde kullanılması durumunda gözle görülebilecek ayrışma durumu ortaya çıkmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde bu tür problemleri ortadan kaldırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla kimyasal katkıların yanında puzolan veya filler özelliklerine sahip mineral katkı kullanımının istenilen özellikleri elde etme hususunda işe yarayabileceği görülmüştür [4]. Elde edildikleri kaynaklara göre mineral katkı maddeleri üç gruba ayrılır;

- Doğal malzemeler (volkanik küller, traslar)
- Endüstri kolunda yan ürün-atık ürün olarak elde edilen malzemeler (uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu)
- Isıl işlem uygulanarak elde edilen malzemeler olarak üç grupta toplamak mümkündür[1].

ASTM standartlarında puzolanlar; ‘tek başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösteren ama ince taneli olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanan silisli veya silisli ve alüminli malzemeler’ olarak tanımlanmaktadır[5,6]. ASTM standardındaki tanımdan da anlaşılacağı üzere malzemenin ince taneli olma özelliği mineral katkı maddesi olmasında en önemli etkindir.

Ülkemizde büyük bir rezervi bulunan, genellikle hafif beton üretiminde kullanılan pomzanın öğütülerek mineral katkı maddesi olarak kullanılması pomzaya olan talebi önemli oranda arttıracaktır.

Çelik lifli beton; çimento, agrega ve süreksiz dağılmış çelik liflerin bir arada kullanıldığı, gerektiğinde puzolan ve katkı maddesi de kullanılarak elde edilen bir beton türüdür [7]. Çelik lifler betonda kırılmayı engellemelerinin yanı sıra betonun darbe mukavemetini artırır. Malzemenin dökülmesini, parçalanıp dağılmasını engelleyerek betonun durabilitesine katkı sağlar[8]. Çelik liflerin genellikle mekanik dayanımı üzerinde durulduğu yapılan literatür çalışmasıyla gözlenmiştir.

Yapıda taşıyıcı elemanları oluşturan beton yapı ömrü boyunca birtakım çevresel etkiler sonucu hasara uğrayabilir. Bu etkiler; fiziksel, kimyasal ve fiziko kimyasal gibi etkilerdir. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına hatta proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir [9]. En çok kullanılan yapı malzemesi olan beton, sıklıkla meydana gelen yangınlarda yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Yangın esnasında 1200 °C’ye ulaşan sıcaklıklarda beton, dayanımının önemli bir kısmını kaybeder. Bu dayanım kaybı çimento hamurunun yapısının bozulması ve betonda meydana gelen parçalanmalar neticesinde olmaktadır. İnsan hatası nedeniyle sıklıkla karşılaşılan yangınlarda betonun nasıl davranacağını bilmek ve betonunun yangın riskine karşı özelliklerini geliştirmek büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada çelik lif ve farklı oranlarda öğütülmüş pomza kullanılarak üretilen KYB’nin yüksek sıcaklıklara etkisi incelenecektir. Çalışma kapsamında Bitlis yöresi pomzası kullanılacak olup, çalışmadan istenilen sonucun alınması halinde Türkiye’deki pomza rezervinin önemli bir bölümünü barındıran Bitlis yöresi pomzasına talebin artacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

KYB, kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen herhangi bir iç veya dış vibrasyon gerek kalmaksızın kendiliğinden sıkışabilen bir beton türüdür. KYB, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayacak kohezyonu koruyabilen çok akıcı, kıvamlı özel bir beton olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir [10]. Yüksek bir dayanıma da sahip olan KYB'nin en önemli özelliği sahip olduğu akıcılıktır. Bu akıcılık sayesinde;

- Kolay pompalanabilir
- Sık donatılı ve dar kesitli kalıplara rahat bir şekilde yerleşebilir
- Yüksek kalitede düzgün bitmiş brüt beton yüzeyler elde edilir
- Endüstriyel uygulamalarda işçilik maliyeti ve zamandan tasarruf sağlar
- Özellikle güçlendirme projelerinde tek noktadan döküm yapılarak kendiliğinden yerleşir ve seviyelenir [11].

Geleneksel beton dökümünde betonu sıkıştırmak için vibratör kullanmak zaruridir. Vibratör kullanılmış olsa bile geleneksel betonlarda istenilen sıkışma miktarının elde edilmediği görülmektedir. İyi sıkıştırılmayan betonlarda boşluklar meydana gelir ve beton geçirimli hale gelir. Geçirimli hale gelen betonun, dışardan su ile birlikte içeri giren kimyasallar sonucunda dayanıklılığında(durabilitesinde) önemli bir azalma görülür. Dayanıklılığın azalması ile birlikte betonun dayanımında da azalma olması kaçınılmazdır.

KYB özellikle hazır beton sektörü, onarım güçlendirme işleri ve prefabrik sektörü başta olmak üzere inşaatın çeşitli dallarında giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Vibratör gerektirmeden kolay yerleşebilmesi, yüksek ayrışma direncine sahip oluşu, yüksek dayanıklılık özelliği gibi nedenlerle yüksek performanslı beton üretimine olanak veren KYB, ülkemizde de kullanılmaya başlanmıştır[2].

2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Tarihsel Gelişimi

KYB'nin ilk örneklerini oluşturan, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması için çok az vibrasyon gereksinimi duyan geleneksel betonlar Avrupa'da 1970'lerin başından beri

kullanılmaktaydı. Japonya’da kalifiye iş gücünün azalması sonucunda Tokyo Üniversitesi tarafından 1986 yılında araştırılmaya başlanması ile KYB oluşmaya başladı. KYB ile ilgili ilk araştırma sonuçları 1989 yılında yayımlanmaya başlanmıştır. Hajime Okumura tarafından başlatılan çalışmalar Ozawa, Ouchi ve Maekewa tarafından devam ettirilmiştir. Büyük depremlerle sarsılan Asya ülkelerinde ve kalifiye iş gücünün pahalı olduğu Kuzey Avrupa ülkelerinde farklı uygulamalarla KYB kullanılmaya başlanmıştır [12].

2.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bileşenleri

KYB’nin kendisinden beklenen özellikte olması için doğru tasarlanmış olması şarttır. Doğru tasarlanmış KYB yeterli akıcılığı sağlamak için düşük akma gerilmesine ve yeterli bir viskoziteye sahip olmalıdır. KYB’de yüksek akıcılık için yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar kullanılmaktadır. Fakat bu süper akışkanlaştırıcıların kullanımı KYB’nin ayrışma direncinde bir miktar düşüşe yol açmaktadır. Bu nedenle genellikle karışımlarda süper akışkanlaştırıcı (SA) katkısı kullanımıyla meydana gelebilecek ayrışmayı azaltmak için ince agrega ve/veya bağlayıcı miktarını artırma yoluna gidilmektedir. Başka seçenek ise süper Akışkanlaştırıcı katkıları ile birlikte viskozite düzenleyici katkıların kullanılmasıdır. KYB üretiminde kullanılan kimyasal katkı ve bağlayıcı miktarının geleneksel betonlara göre daha yüksek olması nedeniyle yüksek maliyetlerle karşılaşmaktadır. Bu yüksek maliyeti azaltma ve KYB özelliklerini elde etmenin diğer bir yolu ise beton karışımlarında ilave mineral katkı kullanımıdır [13].

KYB üretiminde mineral katkı kullanımı son derece önemlidir. Mineral katkıların kullanımı bu betonların maliyetini azaltmak, kohezif ve viskoz yapı oluşturarak kendiliğinden yerleşme özelliğini sağlamak açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca mineral katkılar betonun uzun kür süresinde dayanımını arttırarak Elastisite modülünün de artmasına yardımcı olmaktadır [14].

2.1.2.1. Çimento

Portland çimentosu; kalker ve kil karışımından oluşan hammaddelerin belirli bir sıcaklıkta pişirilmeleri sonucu oluşan klinkerin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen bir üründür. Su ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Portland çimentosu olarak adlandırılan ürün genellikle gri renkte

olmaktadır. Bu gri renk çimento üretiminde kullanılan hammaddelerde çok küçük miktarda yer alan demir oksitten ötürüdür. Pişirilmek üzere seçilen hammaddede mangan oksit ve demir oksit bulunmadığı durumda, elde edilen Portland çimentosunun rengi beyaz veya beyaza yakın renk olmaktadır [1].

2.1.2.2. Agreg

Agregalar beton üretiminde çimento ve su ile birlikte kullanılan, beton hacminin önemli bir kısmını oluşturarak dolgu malzemesi görevi gören; kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerdir[1]. KYB’de iri ve ince agreg

KYB için agreg

KYB’de agreg

- Silt, kil ve kirliliğin bulunması kesinlikle engellenmelidir. Agreganın etrafını saran bu kirlilik çimento hamuru ve agreg
- Donatı aralığı maksimum agreg
- İri agreganın şekil ve tane boyut dağılımı KYB’nin geçme yeteneğini ve akışını doğrudan etkiler. Köşeli ve düzgün şekle sahip kırmataş agregaları yerine daha küresel şekilli, köşeli olmayan dere agreg

2.1.2.3. Karışım Suyu

Bilindiği gibi, çimento ve agreganın yanısıra betonu oluşturan bir diğer malzeme sudur. Beton malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyunun iki önemli görevi bulunmaktadır:

- Çimento ile birleşerek hidrasyonun yer almasını sağlamak
- Betonun karılma işleminde agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen taze beton karışımında istenilen işlenebilmeyi sağlamak.

2.1.2.4. Katkılar

Beton katkı maddeleri harç ve betonların sertleşmiş haldeki bazı özelliklerini değiştirmek amacıyla karıştırma işlemi sırasında veya hemen önce karışıma katılan; agrega, su, hidrolik bağlayıcı gibi ana bileşenlerin yanında ihtiyaç duyulduğunda kullanılan maddelerdir. Katkı maddelerinin temel üretim kurallarına aykırı hazırlanan bir betonun kötü özelliklerinin iyileştirmesi beklenemez. Katkı maddelerinin seçimi ve kullanılmasında bilinçli davranılması gerekir. Çünkü betonun bazı özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan bir katkı maddesi, betonun bazı özellikleri üzerinde olumsuz etki gösterebilir veya beklenen olumlu etkiyi göstermeyebilir [17].

2.1.2.4.1. Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkı maddeleri; taze ve/veya sertleşmiş betondan istenilen özellikleri elde etmek için malzemelerin karıştırılma işlemi esnasında beton karışımının içerisine bağlayıcı malzeme ağırlığının %5'ini geçmemek şartıyla eklenen maddelerdir[18]. KYB'ler kendilerinden istenilen stabiliteyi ve mukavemeti sağlarken aynı zamanda yüksek seviyede işlenebilirlik özelliğine sahip olmaları beklenir. KYB üretiminde arzu edilen işlenebilirliğe ulaşmak için taze betona yüksek oranda su katılması fizibil bir yöntem değildir. Çünkü istenen basınç dayanımını sağlayabilmek için su/çimento oranını sabit tutmak amacıyla yüksek miktarda da çimento kullanmak gerekir ve bunun sonucunda ekonomiklikten ödün verilir. Tam bu hususta kimyasal katkı teknolojisindeki gelişmeler ve süper akışkanlaştırıcı katkıların bulunması günümüzde KYB üretimini oldukça kolaylaştırmıştır [19].

TS 3452 numaralı standart kimyasal katkı maddelerini yedi gruba ayırmıştır.

1. Su azaltıcı katkılar
2. Priz geciktirici katkılar
3. Priz hızlandırıcı katkılar
4. Su azaltıcı ve priz geciktirici katkılar
5. Su azaltıcı ve priz hızlandırıcı katkılar
6. Yüksek miktarda su azaltıcı katkılar
7. Yüksek miktarda su azaltıcı ve priz geciktirici katkılar[20].

Kimyasal katkı maddelerinin işlevlerini dört grup halinde özetleyebilmek mümkündür.

- Arzu edilen miktarda su azaltmak
- Priz geciktirmek
- Priz hızlandırmak
- Hava sürüklemek [21]

2.1.2.4.2. Mineral Katkılar

İnşaat sektöründe çimento kullanımının oldukça fazla olması nedeniyle çimento üretmek için gereken hammaddeler hızla tükenmektedir. Bu hammaddelerin yerine daha ucuz, temin edilmesi kolay ve benzer kompozisyonda olan malzemelerin kullanılmasıyla beton kalitesi düşürülmeden üretim maliyetleri azaltılabilmektedir. Bu sebepten ötürü inşaat sektöründe kaynakların tükenmesini azaltmak, çimentoya alternatif malzeme elde edebilmek için geri dönüştürülmüş ikincil malzemelerin kullanımı, son yıllarda üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı bir konudur. Çimento ve betonda kullanılan ikincil malzemeler arasında Puzolanik özellik gösteren malzemeler önemli bir yer tutmaktadır. Puzolan tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıktaki nemli ortamda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girmesi sonucu bağlayıcılık özelliği kazanan malzeme olarak tanımlanmaktadır. Puzolanlara örnek olarak yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve uçucu kül gösterilebilir [22].

Mineral katkı maddeleri KYB’de viskozite arttırmak için kullanılırlar. Tane boyutunun küçülmesi parçacıklar arası etkileşimin artmasına neden olur ve bu etkileşim viskoziteyi artırır. Viskoziteyi arttırmak için kullanılabilecek mineral maddeler; uçucu kül, silis dumanı, doğal ve yapay cüruflar, kuvarz kumu tozu, kireçtaşı tozu ve cam tozudur. Malzemenin mineral katkı olarak kullanılabilmesi için belli bir inceliğe sahip olması

gerekmektedir. Yapılan araştırmalarda %10'u 200 mikrondan geçip 100 mikron üzerinde kalan mineraller KYB için istenilen performansı gösterememiştir. KYB'de Toz malzeme oranı 400 ila 650 kg/m³ arasında önerilmektedir. Bu miktar kum ve agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurması ve daha iyi sıkışma sağlanması için önerilmektedir [23].

Çok ince ğtlmş mineral katkıların üretimi ya çok pahalı değil ya da bu maddeler birer yan üründür. Böylece mineral katkıların kullanımı, beton üretiminde oldukça ekonomiklik sağlar. Çok büyük hacimlerde endüstriyel atıkların çimentonun bir miktarının yerine ikameli olarak kullanılması ile enerji ve doğal kaynakların da korunmasını sağlanacaktır [24].

Mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı ve uçucu kül endüstriyel atık olarak elde edilmekteyken taş halinde olan pomzanın ülkemizde büyük bir rezervi bulunmaktadır. Pomzanın ğtlp mineral katkı olarak kullanılmaya başlanmasıyla hem pomzanın kullanılma alanı genişleyecektir hem de beton üretiminde mineral katkı ihtiyacına tamamen cevap verilecektir.

2.2. Pomza

Patlayıcı volkanizma faaliyetleri esnasında yüksek sıcaklık ve basınç altında eriyik halde bulunan magma, şiddetli bir biçimde yeryüzünden atmosferin st katmanlarına doğru hızlı bir şekilde ulaşır. Likit halde olan kızgın eriyikler atmosferin st katmanlarında ani olarak soğuk ortamlarla karşılaşır. Bu soğuma neticesinde proklastik kayaç bünyesindeki su buharı ve fmeroller akabinde bünyeden uzaklaşarak kristal hale gelmeden çok poroz bir kayaç oluşur. Bu poroz kayaç havadan akma mekanizması ile aktif volkan krateri ve civarında mevcut topografya üzerinde üzerine yayılır. Aktivasyonu yavaşlayan volkanizma faaliyeti sonrası pşkren tf ve sonrası meydana gelebilecek alüvyonal formasyonlar pomza katmanlarının üzerini farklı kalınlıklarda örtebilir. Yoğun erozyon etkilerinden korunmuş pomza katmanları günümüzde ekonomik öneme sahip yatakları oluşturmuşlardır [25].

Pomza birim ağırlılığının düşük olması, yüksek ısı ve ses yalıtımı sağlamaları, iklimlendirme özelliği, sıvı tutmaları, mkemmek akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve özellikle alternatiflerine göre çok daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı inşaat ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır [25].

2.2.1. İnşaat Sektöründe Pomza Kullanımı

Gerek yapı malzemelerinde göz önünde bulundurulanan kalite ve ihtiyaç standartlarının her geçen yıl değişmesi gerekse yalıtım ve sağlamlık gibi özelliklerin ön planda tutulduğu özel amaçlara uygun ürünlerin geliştirilmesi ve ürün yelpazesinin gitgide genişlemesi alternatif ve ekonomik malzemelere yönelik ilgi ve arayışı arttırmaktadır. Bundan dolayı pomza gibi rezervi bol miktarda olan doğal malzemelerin beton üretiminde kullanılması ile ilgili birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Pomzanın kullanım alanları çok geniştir. Pomza son yıllarda özellikle briket üretiminde hammadde olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca pomza birim ağırlığının düşük olmasından dolayı hafif beton üretiminde de agrega yerine kullanılmaktadır. Normal betona göre hafifliği, nakliye kolaylığı, ısı yalıtımı sağlaması ve ekonomik oluşu gibi nedenlerle tercih edilmektedir. Konutlarda yalıtım özelliklerinden ötürü enerji tasarrufu sağlamasından dolayı özellikle ülkemiz gibi ısınmak için doğalgaz yakıt kullanan dışarıya bağımlı ülkeler için önem kazanmaktadır. Pomzanın kırılmadan büyük deformasyon yapabilme yetenekleri sayesinde, beton dayanımının artırılmasıyla birlikte özellikle deprem bölgelerinde önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar pomzanın hafif agrega olarak kullanımının mümkün olduğunu ancak beton özellikleri ve yürürlükteki standartlara uygunluk bakımında belirli ölçü standartlarında olması gerektiğini göstermektedir. Pomza olarak elde edilen hafif betonun standartlara uygunluğu çeşitli dayanım deneyleri ile belirlenmektedir. Elde edilen değerler ışığında kullanılan pomzanın tane boyutu ve oranı belirlenmiş olmaktadır. Ayrıca pomza zemin stabilizasyonunda kullanılmaktadır [26].

2.2.2. Mineral Katkı Olarak Öğütülmüş Pomza

Mineral katkılar; çok ince bir şekilde öğütülmüş malzemeler olarak tanımlanır. Beton karışımına üç anabilesenden farklı olarak ihtiyaç olması durumunda ayrı bir bileşen olarak eklenirler. Mineral katkı maddesi olarak; uçucu kül silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi katkılar kullanılmaktadır. Bu katkılarının ortak özellikleri endüstriyel alanlarda yan ürün olarak elde edilmeleridir. Temin edilmeleri kolay olmadığından ve sınırlı miktarda olduklarından dolayı mineral katkı olarak farklı malzemelere yönelmek gerekmektedir. Ülkemizde önemli bir rezervi bulunan pomzanın katkı malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Pomzanın katkı maddesi olarak kullanılması üzerine yapılan çalışmada; Dolgun, betonun basınç dayanımları üzerinde yaptığı deneylerden aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

- Sıcak kür şartlarında pomza ilavesi basınç dayanımlarında düşüşe neden olurken, kaynar kür şartlarında basınç dayanımlarının pomza ilavesi ile artış gösterdiği tespit edilmiştir.
- Standart kür şartlarında 3 ve 7 günlük basınç dayanımlarının pomza ilavesi ile birlikte azaldığı, 28 günde ise beton içerisinde kimyasal reaksiyonların tamamlanmaya başlaması ile pomza ilavesinin betonun basınç dayanımını düşürmediği hatta belli bir miktar artışa neden olduğu görülmüştür [24].

Pomzanın katkı maddesi olarak kullanıldığı zaman gösterdiği basınç dayanımının; geleneksel katkı maddeleri kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımından çok farklı olmaması pomzanın katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

2.2.3. Pomza İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Pomza birim ağırlığının düşük olması nedeniyle hafif betonlarda yaygın olarak kullanılmakta ve bununla ilgili birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Pomzanın hafif agregası olmasının yanı sıra öğütülerek toz haline getirilen pomzanın mineral katkı olarak kullanılması üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Dünyadaki pomza rezervinin önemli bir kısmının ülkemizde bulunması ve farklı endüstri kollarından yan ürün-atık ürün olarak elde edilen mineral katkıların sınırlı olması; pomzanın mineral katkı olarak öneminin artmasını sağlamıştır. Dolgun, öğütülmüş pomza üzerine yaptığı çalışmada aşağıda ki sonuçlara ulaşmıştır;

- Kontrol numunesine %10 pomza ilavesi V hunisi ve 50 cm'ye ulaşma süresinde olumsuz etki yaparken yayılma çapını ise artırmıştır.
- %15.20-25 pomza ilaveli karışımlarda, akışkanlaştırıcı oranı artırılarak yayılma çapı 70 cm'ye ulaşmıştır.
- Pomza ilavesinin standart kürde 3 ve 7 günlük numunelerde basınç dayanımı, kontrol numunelerine göre düşük olurken 28 ve 90 günlük dayanımlarda artış görülmüştür.
- UPV ölçümlerinde de basınç dayanımında olduğu gibi kür süresinin uzaması ile hız da artış meydana gelmiştir. Ama UPV hızındaki artış oranı basınç dayanımındaki oran kadar belirgin olmamıştır [24].

Çelikten, öğütölmüş pomzanın çelik lif içeren yüksek dayanımlı betona etkisini inceleyen çalışmasında öğütölmüş pomza tozu(ÖPT) kullanılan çelik lifli ve çelik lifsiz betonlarda ölçölen UPV hızlarının, %5 ÖPT oranına sahip betonlar hariç şahit numunelere göre daha düşük olduğunu belirtmiştir [27].

Kabay ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada öğütölmüş pomza tozu (ÖPT) ve uçucu küln(UK) mineral katkı olarak çimento ikameli kullanılmasının beton özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında kontrol beton (K) numunelerine ek olarak; K+%10 ÖPT, K+%20 ÖPT, K+%10 UK, K+%20 UK, K+ %5 ÖPT+ %5 UK, K+%10 ÖPT + %10 UK içeren karışımlar hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında aşağıda ki sonuçlara ulaşmıştır.

- ÖPT ve UK'nin değişik oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılması sonucunda referans betona kıyasla su absorbesinin ve boşluk oranının daha düşük olduğu gözlenmiştir.
- ÖPT ve UK içeren tüm karışımların magnezyum sülfat direnci, basınç dayanımının değişimi de göz önünde bulundurularak, 180 ve 360 günlük kür süresi uygulanan kontrol betonundan daha yüksektir.

ÖPT20, ÖPT10-UK10 karışımları 360 günlük kür süresinden sonra magnezyum sülfat saldırısına karşı en iyi performansı gösteren karışımlar olmuştur [28].

2.3. Çelik Lif

Beton teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ile birlikte yüksek dayanıma sahip betonlar üretilmeye başlanmıştır. Betondan yüksek dayanımına sahip olmasının yanısıra sünekliliğe de sahip olması beklenir. Beton dayanımı ve sünekliliği arasında ters orantı vardır. Dayanım arttıkça süneklilik azalmaktadır. Betondan bu iki özelliğe de sahip olması istenir. Betona çelik lifler katılarak dayanımın artmasıyla azalan süneklilik arttırılabilir.

Beton diğer yapı malzemeleri ile kıyaslandığı zaman maliyetine göre gösterdiği dayanım betonu en avantajlı yapı malzemesi yapmaktadır. Bu sebepten dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Lifler betonun zayıf olan yönlerini iyileştirmek için kullanılmakta ve birçok çalışmaya konu olmaktadır.

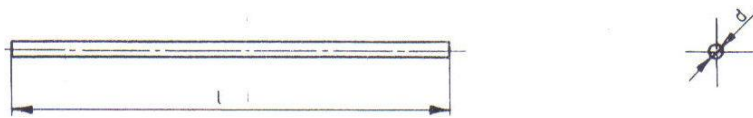
2.3.1. Çelik Lif Çeşitleri

ACI 544'e göre tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı ile çelik lifler belirlenir [29]. Bu oran aynı zamanda terin narinliği anlamına da gelmektedir. Çelik lif teçhizatlı beton imalatında kullanılan bu çelik lifler, düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile imal edilmelidirler. Bu tellerin kopma gerilmesi ortalaması en az 345 N/mm² olmalı, her bir tel için en az 310 N/mm² olmalıdır [30]. TS 10513 e göre çelik lifler şekillerine göre aşağıdaki gibi sınırlandırılmıştır[31].

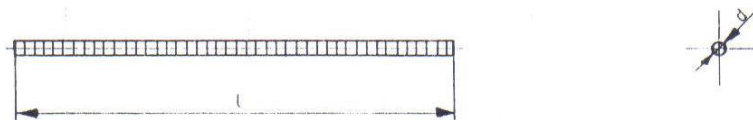
- A sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller (Şekil 1)
- B sınıfı: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller (Şekil 2.3.4)
- C sınıfı: Sonu kancalı teller (Şekil 5.6)

Çelik teller TS 10513'te tiplerine göre şu şekilde sınıflandırılır[31].

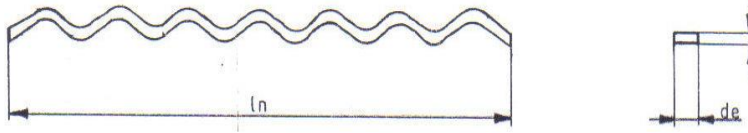
- A sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller(Şekil 1)
- B sınıfı: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller
 1. Üzerinde girintiler(çentikler) açılmamış teller(Şekil 2)
 2. Uzunluğu boyunca dalgalı(kıvrımlı) teller (Şekil 3)
 3. Ay biçimi dalgalı teller(Şekil 4)
- C sınıfı: Sonu kancalı teller
 1. İki ucu kıvrılmış teller (Şekil 5)
 2. Bir ucu kıvrılmış teller (Şekil 6)



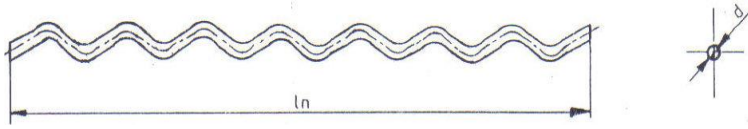
Şekil 02.1. Düz pürüzsüz yüzeyli teller



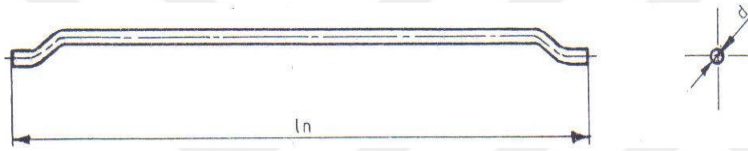
Şekil 2.2. Üzerinde girintiler(çentikler) açılmamış teller



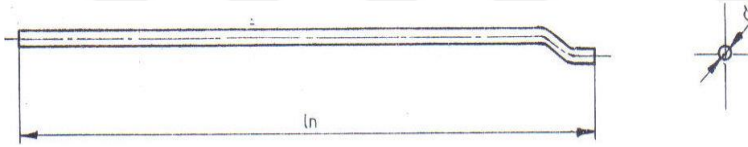
Şekil 02.3. Uzunluğu boyunca dalgalı(kıvrımlı) teller



Şekil 02.4. Ay biçimi dalgalı teller



Şekil 02.5. İki ucu kıvrılmış teller



Şekil 02.6. Bir ucu kıvrılmış teller

2.3.2. Çelik Lifli Beton

Çelik lifli beton; betonu oluşturan ana bileşenler ile mineral ve kimyasal katkıların yanısıra betona lif katılarak elde edilen beton türüdür. Yapı elemanları tasarlanırken betonun basınç dayanımlarını karşılayacağı göz önünde bulundurulur. Her ne kadar kesit tesirlerinden oluşan çekme gerilmelerini betonun içerisindeki donatıların karşılayacağı düşünülse de betonda çatlakların oluşmaması için betonun da bir miktar çekme dayanımına sahip olması istenir. Yapı elemanlarında meydana gelen kesit tesirleri; betonun karşılayabileceği çekme dayanımını aştığı durumda betonda çatlaklar oluşur. Çelik donatılar çatlakların oluşmasını engellemekten ziyade çatlakların genişlemesine engel olur. Çekme gerilmelerinden ötürü oluşan bu çatlaklar betonun dayanımını ve geçirimliliği için

de betonun durabilitesini azaltır. Betona ilave edilen çelik teller çekme dayanımını arttırarak ilk çatlak oluşumunu engeller. Çeliğin bir başka önemli işlevi de gevrek olan betona süneklilik özelliğe kazandırarak betonu yarı sünek(düktil) hale getirmektir [30].

Düktilite özelliği kazanması, taşıma gücüne ulaşmasına rağmen betonun hala yük taşıma kapasitesi olduğu anlamına gelir. Betona gelen en büyük yükün etkisi ile artan deformasyon sonucu çelik lifli betonun taşıdığı yükün azalma hızı normal betonlara göre daha yavaştır. Çelik lifli betonda meydana gelen çatlamlar ve parçalanmalar normal betona göre daha azdır. Çelik lifler böylece dolaylı olarak betonun durabilitesine de katkıda bulunur [32].

Çelik lifli betonlar belirtilen özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bu alanlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

- Tünellerde püskürtme beton kapmalarında
- Endüstri yapılarında
- Su yapılarında
- Kabuk yapılarda
- Yol kaplamalarında
- Süneklilik özelliğinden dolayı depreme dayanıklı yapılarında [30]

2.4. Yüksek Sıcaklık

Yapı elemanları yangın esnasında yüksek sıcaklık ile karşılaşır. Yangın esnasında sıcaklık 600°C ile 1200°C arasında olmaktadır. Betonun yüksek sıcaklığa karşı gösterdiği dayanım ve dayanıklılık; kullanılan agrega, mineral ve çimento türüyle birlikte betonun yaşı ve betondaki nem oranına bağlı olarak değişebilmektedir [33].

2.4.1. Yüksek Sıcaklıklarda Betonun Yapısı Ve Davranışı

Meydana gelen yangınlarda sıcaklık 1200°C'ye kadar ulaşabilmektedir. Yapı elemanları seçilirken yüksek sıcaklık etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda çelik yumuşayarak mukavemet kaybederken ahşap haliyle yanar. Betonda ise yüksek sıcaklıklarda parçalanmalar görülse de diğer elemanlara göre betonun yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı daha fazladır [34]. Sanayi ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte kentsel yaşam oranı artmış; insanların toplu yaşamasına bağlı olarak yangın riski de

yükselmiştir. Yangının sebep olacağı maddi ve manevi zararlar düşünüldüğünde yapı elemanı olarak en çok kullanılan betonun yangın esnasında göstereceği davranış büyük önem arz etmektedir.

CSH jelini birbirlerine bağlayan absorpsiyon suyu ve hidrat suları kolaylıkla buharlaşmazlar. Sıcaklığın 100°C'ye ulaşmasıyla birlikte beton içerisinde serbest halde bulunan su buharlaşır. Yangının hemen başında buharlaşan suyun etkisiyle betonda büzölmeler meydana gelir ve bunun sonucunda betonda çatlamalar oluşur. CSH (kalsiyum-silika-hidrat)'ın jel suyu ve kimyasal suyu 300°C'den itibaren kaybolmaya başlar ve 530°C'de CSH jelinin yanında bulunan Ca(OH)_2 (kalsiyum hidroksit) suyunu kaybederek CaO 'ya dönüşür. Yangın sırasında betona sıkılan su ile oluşan CaO (kalsiyum oksit) tekrar Ca(OH)_2 'ye dönüşür. Boşluklu yapıya dönüşen beton geçirimli hale gelerek durabilitesini kaybeder [35].

2.4.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Gustaferro ve arkadaşları tarafından hafif betonların yangın dayanımları üzerine yapılan çalışmada; 500–1600 m³ birim ağırlığı arasında değişen beton numunelerinin yangın dayanımları incelenmiştir. Bu numunelerdeki bağıl rutubet ve nem içeriği arasındaki ilişki saptanmıştır. Deney kapsamında kullanılan beton türleri; boşluklu hafif beton, vermikülit beton ve perlit betonlardır. Farklı birim ağırlığındaki betonlar için döşeme kalınlığı ve yangın dayanımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma sonucunda tüm beton türleri için birim ağırlıktaki artış ile birlikte betonun dayanımında azalmalar tespit edilmiştir [36]

Shneider ve Weiss; yüksek sıcaklık etkisi ile agregada fazında bir takım değişimlerin ve reaksiyonların oluştuğunu vurgulamıştır. Betonun özelliklerini meydana gelen bu reaksiyonlar bozmuştur. Bu bozulmaların özellikle çimento hamurunda meydana geldiği ve sıcaklığın artması ile betonda zayıflama olduğu belirtilmiştir [37].

Phan ve Carino tarafından yapılan çalışmada Portland çimentosu ve mineral katkıları(silis dumanı ve uçucu kül) ve çelik lif kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklık etkisi altında mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kullandıkları agregalar; normal ağırlıklı agregalar, kalker ve silisli agregalar ve hafif agregalardır. Özellikle 400 °C sıcaklığa kadar yüksek dayanımlı betonların normal dayanımlı betonlara göre malzeme özelliklerinin farklılık gösterdiği belirtilmiştir. 400°C'ye kadar dayanım kaybının yüksek dayanımlı betonlarda daha hızlı olduğu görülürken 400°C

üzerinde dayanım kaybetme hızları arasındaki farkın azaldığı vurgulanmıştır. 800°C sıcaklıkta dayanım kaybının önemli seviyelere ulaştığı belirtilirken sıcaklık ve basınç dayanımı arasındaki ilişki şöyle açıklanmıştır.

- Oda sıcaklığından 100°C'ye kadar; dayanım kaybının başlangıç aşaması
- 100 °C ile 400 °C'ye kadar; dayanımın sabitlenmesi ve geri kazanım aşaması
- 400 °C ve üzeri; dayanımda azalma aşaması [38].

Chen ve Liu yüksek dayanımlı lifli ve lifsiz betonların yüksek sıcaklık sonrası dayanımını incelemiştir. Karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yüksek dayanımlı lifsiz beton; yüksek sıcaklıklarda parçalanmalar meydana gelmiştir.
- Yüksek dayanımlı karbon ve çelik lifli beton; parçalanma zamanı gecikmiştir.
- Yüksek dayanımlı polipropilen lifli beton; parçalanma olayı ortadan kalkmıştır.
- Lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme dayanımları lifsiz betonlara kıyasla daha yüksek olmuştur [39].

Li ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 40 MPa, 60 MPa ve 70 MPa dayanıma sahip betonları yüksek sıcaklığa maruz bıraktıktan sonra basınç dayanımlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında 10*10*10 cm ve 15*15*15 cm boyutunda küp numuneler kullanmıştır. Numune boyutu arttıkça dayanımdaki kaybın azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca 800 °C üzerindeki sıcaklıklarda betonun su muhtevasının basınç dayanımı üzerinde çok etkisi olmadığını ifade edilmiştir[40].

Janotka ve Nurnbergova; betonun yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra ani soğutmayla karşılaşması durumunda betonun ve çimento hamurunun gözenek yapısında telafisi olmayan hasarlar meydana geldiğini belirtmiştir [41].

Karagöz kendiliğinden yerleşen harçların ısı genleşmesi üzerine yaptığı çalışmada; yüksek sıcaklığa maruz kalacak betonlarda kireçtaşı esaslı agregaların kullanılmasıyla betonları 800 °C'ye kadar deforme olmasının önemli miktarda engelleyeceği sonucuna ulaşmıştır [35].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, KYB üretiminde çelik lif ile birlikte mineral katkı olarak öğütülmüş pomza tozu (ÖPT) kullanılarak üretilen çelik lifli betonda pomzanın yüksek sıcaklığa etkisi incelenmiştir. Çalışma için biri kontrol numunesi olmak üzere farklı ÖPT oranlarında 5 karışım hazırlanmıştır. Bağlayıcı malzeme miktarı sabit tutulup; %5, %10, %15, %20 oranlarında ÖPT kullanılmıştır. Karışım oranını tam olarak belirlemek için taze haldeki KYB üzerinde çökme-yayılma, V hunisi deneyleri yapılmıştır.

KYB'lerin karışım oranları belirlendikten sonra; toplamda 60 adet 15 cm *15 cm *15 cm ve 18 adet 10 cm *10 cm *10 cm küp numuneler ile 18 adet 10 cm *10 cm * 35 cm'lik kiriş numunesi dökülmüştür. Dökülen bu numuneler yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce 28 günlük kürde bekletilmiştir. Kürden sonra numuneler; oda sıcaklığı, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra UPV ölçümleri, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca çelik lifin beton içerisindeki mikroskobik görüntüsü de incelenmiştir.

Farklı sıcaklıklara maruz kalan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılarak ÖPT kullanımının kendiliğinden yerleşen çelik lifli betonlarda yüksek sıcaklığa etkisi incelenmiştir.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri

3.1.1. Portland Çimentosu

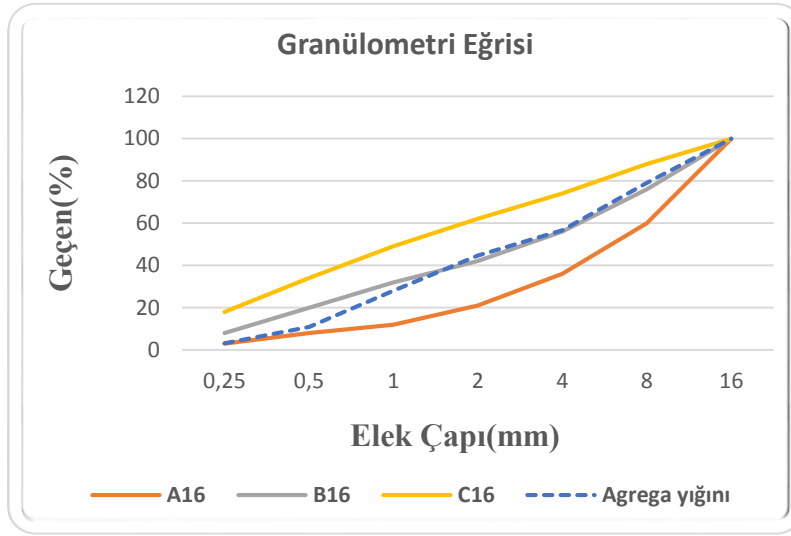
Bu tez çalışması kapsamında Elazığ Çimento A.Ş. Fabrikasından temin edilen CEM-I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel bileşenleri

Kimyasal Özellik	Muhteva
SiO ₃ (%)	21.12
Al ₂ O ₃ (%)	5.62
Fe ₂ O ₃ (%)	3.24
CaO(%)	62.94
MgO(%)	2.91
SO ₃ (%)	2.48
Na ₂ O+K ₂ O(%)	-
Cl(%)	-
Kızdırma Kaybı(%)	3.52
Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	3.03
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3430

3.1.2. Agregas

Bu tez çalışmasında Bingöl yöresinden elde edilen, en büyük tane boyutu 16 mm olan dere agregası kullanılmıştır. Çapı 0-4 mm arasında olan ince agreganın; doygun kuru yüzey özgül ağırlığı(DKY) 2.64 gr/cm³, su emmesi %1.97; çapı 4.16 mm arasında olan iri agreganın; DKY'si 2.66 gr/cm³, su emmesi %1 olarak tespit edilmiştir. Agreganın elek analizi sonucunda belirlenen granülometri eğrisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 03.1. Beton agregasının granülometri eğrileri

3.1.3. Su

Bu tez çalışması kapsamında Bingöl (Merkez) şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Kimyasal Katkılar

Bu tez çalışması bünyesinde Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. firmasından temin edilen, yoğunluğu 1.07.1.110 kg/l olan, modifiye polikarboksilat esaslı polimer yapılı ViscoCrete SF-18 yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı (SA) kullanılmıştır. Kullanılan SA miktarı tüm karışımlarda sabit tutulmuş ve 6,5 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Kullanılan SA'nın özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 03.2. Akışkanlaştırıcının kimyasal yapısı

Kimyasal Yapı	Modifiye Polikarboksilat Esaslı Polimer
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.07.1.110
Ph değeri	3.7
Donma Noktası (°C)	-10
Suda Çözünebilir Klorür (%)	En fazla % 0,1 (TS EN 934.2)
Alkali miktarı (% Na ₂ O Eşdeğeri Olarak)	En Fazla % 3 (TS EN 934.2)

3.1.5. Mineral Katkılar

Bu tez çalışması kapsamında mineral katkı malzemesi olarak Öğütülmüş Pomza Tozu (ÖPT) kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı; ÖPT kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen lifli betonlarda pomzanın yüksek sıcaklığa etkisini incelemektir. Çalışma için kullanılan pomza Bitlis yöresinden temin edilmiştir. Öğütülerek kullanılan pomzanın maksimum tane çapı 0,125 mm olarak belirlenmiştir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri Elazığ Çimento A.Ş. tarafından incelenen Bitlis yöresi pomzasının kimyasal özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 03.3. Pomzanın kimyasal bileşenleri

KİMYASAL ÖZELLİK	
BİLEŞENLER	
SiO₂ (%)	63.57
Al₂O₃ (%)	14.81
Fe₂O₃ (%)	6.75
CaO (%)	2.66
MgO (%)	1.02
SO₃ (%)	0.02
Na₂O (%)	4.36
K₂O (%)	4.36
Kızdırma Kaybı: 4.59	
Özgül Ağırlık(gr/cm ³) : 2.47	
Özgül Yüzey (cm ² /gr): 2871	

3.1.6. Çelik Lif

Yurt dışından ithal edilen ‘Bekaert’ markalı 3D tipli; sonu kancalı, iki ucu kıvrılmış, birbirine tutkalla birleştirilmiş Dramix 65/35 BG cinsi çelik lif kullanılmıştır. B; bright, parlaklığı temsil ederken G; glued, tutkallandığını temsil eder.



3D türündeki çelik lif

Şekil 03.2. 3D türündeki çelik lif

Tablo 3.4. Çelik lifin teknik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	DRAMİX 65/35 BG
Tel uzunluğu (mm)	35
Tel çapı (mm)	0.55
Elastisite Modülü (N/mm ²)	210000
Uzunluk / Çap oranı (l/d)	65
Çekme dayanımı (N/mm ²)	1345

Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri tablo 3.4' de belirtilmiştir.

3.2. Deneyde Kullanılan Aletler

3.2.1. Beton Mikseri

Beton üretiminde Yüksel Kaya Makinanın ürettiği 56 litre kapasiteli, kazanı 135 derece eğilebilir kremayer dişli kolay boşaltılabilir laboratuvar pan tipi beton mikseri kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Beton mikseri

3.2.2. Yüksek Sıcaklık Fırını

İstenilen dereceye ve dakikaya ayarlanabilen çok programlı yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Fırının ulaşabileceği maksimum sıcaklık 1200 °C'dir.



Şekil 03.4. Yüksek sıcaklık fırını

3.2.3. Beton Test Numuneleri Deney Presi

Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımını belirlemek için yükleme hızının otomatik ayarlandığı beton pres cihazı kullanılmıştır.



Şekil 03.5. Pres

3.2.4. UPV Ölçüm Cihazı

Ultrason hızı ölçümünde 'Pundit Lab. Ultrasonic Pulse Velocity Tester' cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.6. UPV cihazı

3.3. Karışım Hesabı

Normal betondaki basınç dayanımı etkileyen en önemli faktör su/çimento oranıdır. Beton karışım hesabında su/çimento oranı, agregaların türlerine bağlı olarak su emme kapasiteleri, su içerikleri ve çimento dozajı ile kimyasal ve mineral katkı içerikleri, taze ve sertleşmiş beton özelliklerini değiştirecek faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Beton karışım oranlarının belirlenmesinde genellikle basınç dayanımı ve işlenebilirlik özellikleri göz önünde bulundurulur. Bu nedenle tasarımdan yerleştirmeye kadar bütün aşamalarda çalışmaların titizlikle gerçekleştirilmesi gerekir [2].

Karışım hesabı TS802 de belirtilen mutlak hacim yöntemine göre yapılmıştır [42].

$$V_{ag} = 1000 - \left[\frac{Ç}{\gamma_{\phi}} + \frac{\ddot{O}PT}{\gamma_{\ddot{O}pt}} + \frac{SA}{\gamma_{sa}} + \frac{W}{\gamma_w} + A \right] \quad (3.1)$$

Bu formülde;

- V_{ag} : 1 m³ betonda kum hacmi (dm³)
- $Ç$: 1 m³ betonda çimento kütlesi (kg)
- $\ddot{O}PT$: 1 m³ betonda pomza tozu kütlesi (kg)
- SA : 1 m³ betonda süper akışkanlaştırıcı kütlesi (kg)
- W : 1 m³ betonda su kütlesi (kg)
- γ_{ϕ} : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm³)
- $\gamma_{\ddot{O}pt}$: Pomza tozunun ağırlığı (kg/dm³)
- γ_{sa} : Süper akışkanlaştırıcının ağırlığı (kg/dm³)
- γ_w : Suyun özgül ağırlığı (kg/dm³)
- A : 1 m³ betonda hava hacmi (dm³)

3.3.1. Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Deneysel çalışma için bağlayıcı malzeme olarak sadece Portland çimentosu içeren referans KYB üretilmiştir. ÖPT kullanımının kendiliğinden yerleşen lifli betonlarda yüksek sıcaklığa etkisini incelemek için referans karışımdan ayrı olarak dört farklı karışım üretilmiştir. Bu karışımlar, referans karışımdaki çimento miktarının %5, %10, %15, %20 oranında azaltılıp yerine azaltılan miktarda ÖPT eklenmesi suretiyle üretilmiştir. Karışımlardaki bağlayıcı malzeme ve çelik miktarı sabit tutulmuştur. Karışım miktarları Tablo 3.5’de gösterilmiştir.

Tablo 03.5. Beton karışım tablosu

Karışım	PÇ(kg/m ³)	ÖPT(kg/m ³)	Lif(kg)	Agrega(kg/m ³)	Su(kg)	S.A(kg/m ³)	Su/bağ.
ÖPT0	500	0	20	1654	185	6	0,37
ÖPT5	475	25	20	1649	185	6	0,37
ÖPT10	450	50	20	1645	185	6	0,37
ÖPT15	425	75	20	1640	185	6	0,37
ÖPT20	400	100	20	1635	185	6	0,37

3.3.2. Beton Üretimi

Beton üretiminde 56 litre kapasiteli, kazanı 135 derece eğilebilir kremayer dişli kolay boşaltılabilir labaratuar tipi beton mikseri kullanılmıştır. Beton üretimi için aşamalar aşağıda verildiği gibi gerçekleştirilmiştir;

- Beton karışımında öncelikle kuru malzemelerin kendi aralarında, sıvı malzemelerin kendi aralarında karıştırılması prensibi izlenmiştir.
- Homojen karışım elde etmek için iri ve ince agrega miksere konulup karılmıştır. Daha sonra çimento eklenip birlikte kuru olarak karılmıştır.
- Suyun belli miktarı yavaş yavaş karışıma eklenmiştir. Daha sonra kalan suya SA eklenip karıştırılmaya devam edilmiştir.
- Kuru karışımla birlikte her bir karışım toplamda 6 dakika karıştırılmıştır.

Her karışım için; 15 cm * 150 cm *150 cm ve 10 cm *10 cm*10 cm boyutunda 6 şar adet küp numune ile 10 cm *10 cm *350 cm boyutunda 3 adet prizma numune dökülmüştür.

Bütün numuneler 24 saat kalıpta bekletildikten sonra farklı kür sürelerinde 20 °C’deki su tankında muhafaza edilmiştir.

3.4. KYB’de Uygulanan Taze Beton Deneyleri

KYB’nin taze özelliklerini belirlemek için birçok test metodu mevcuttur. Taze betonda kıvam TS EN 206.1 standardına göre belirlenir. Ancak KYB, ilgili standardın belirttiği kıvam değerinden daha yüksek bir kıvam değerine sahiptir. Bundan dolayı ürettiğimiz betonun KYB özelliğini taşıyıp taşımadığı EFNARC standartlarına göre belirlenir. EFNARC’ın yayınladığı ‘Specification and Guidelines for SCC’ isimli dokümanda; betonun KYB olması için bazı kriterler mevcuttur [43]. Bu kriterler Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. KYB’nin sağlaması gereken kriterler

Deney Metodu	Ölçülecek Özellik	Birim	Limit Değer	
			Min ve Max	
Yayılma Tablasında Yayılma	Doldurma Kabiliyeti	mm	650	800
Yayılma Tablasında ilk 50 cm Yayılma için geçen süre	Doldurma Kabiliyeti	Sn	2	5
V-Hunisi Akış	Ayrışmaya Karşı direnç, Geçiş Yeteneği	Sn	6	12
L Kutusu Deneyi	Doldurma Kabiliyeti, Ayrışmaya Karşı Direnç, Geçiş Yeteneği		20cm’ye ulaşma:0,6 sn 40cm’ye ulaşma:1,2 sn h1/h2 >0,8	

3.4.1. Çökme Yayılma Deneyi

EFNARC’a uygun olarak yapılan deneyde yayılma tablasının ortası merkez alınarak Abrams hunisini yerleştirmek için 20 cm çapında; ilk 50 cm’ye ulaşana kadar geçen sürenin tespiti için ise 50 cm çapında iç içe iki daire çizilmiştir. Taze beton hiçbir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın Abrams hunisine doldurulmuş ve düzeltme işlemi yapıldıktan sonra huni yavaş olmayan bir hızla yukarı çekilerek KYB’nin tabla üzerinde yayılması sağlanmıştır.

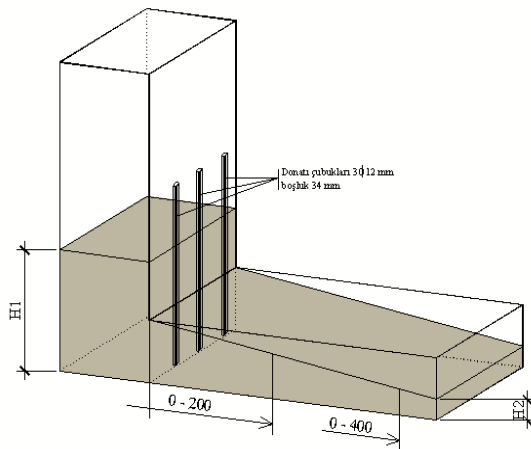
KYB'nin 50 cm çapa ulaşana kadar geçen süre ölçülmüştür (T_{50}). Yayılma tamamlandıktan sonra tabla üzerine yayılan betonun birbirine dik iki doğrultusunda çapları ölçülüp ortalaması alınarak yayılma çapı belirlenmiştir [43].

3.4.2. V Hunusi Akış Deneyi

EFNARC'a uygun olarak yapılan deneyde taze haldeki KYB, herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın V hunisi aparatına doldurulur. Daha sonra üzeri düzeltildikten sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır. Üstten bakıldığında ışık görülene kadar boşalan betonun akış süresi belirlenerek V hunisi akış süresi olarak kaydedilir [43].

3.4.3. L Kutusu Deneyi

EFNARC'ın önerdiği bu deney; taze haldeki KYB'nin doldurma kabiliyetinin, ayrılmaya karşı direncinin ve geçiş yeteneğinin L şeklindeki bir kutu yardımı ile saptanmasını kapsar. Aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere deney düzeneği biri yatay biri düşey iki kutudan oluşmaktadır. Düşey kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak, ve donatı olarak düşünülen demir çubuklar bulunmaktadır. Bu demirler 12 mm çapında olup 34 mm aralıklar ile 3 adet olarak yerleştirilmiştir. Taze haldeki beton düşey kutudan dökülerek 20 cm ve 40 cm ye ulaşana kadar geçen süre ölçülür. Kutunun her iki ucundaki seviye farklı tespit edilir. Elde edilen sonuçların EFNARC'ın önerdiği sınır değerlerinin arasında olup olmadığı incelenir [43].



Şekil 3.7. L kutusu deney seti

Güneş, kendiliğinden yerleşen lifli betonların mühendislik özelliklerinin incelenmesi çalışmasında şu görüşleri belirtmektedir; Çelik lifli numunelerde L kutusunun donatılı geçiş bölgesinin betondaki çelik liflerden dolayı tıkanıldığını bu yüzden deneyin sonuçlanmadığını görülmüştür. Buradan çıkan sonuca göre bu çelik lifle üretilen betonların sık donatılı bölgelerde uygulanmasının sakıncalı olduğu anlaşılmaktadır [44].

Güneş'in yaptığı çalışma incelenmiş ve bunun sonucunda L kutusu deneyi yapılmaması uygun görülmüştür.

3.5. Sertleşmiş Betonda Uygulanan Deneyler

3.5.1. Yoğunluk, Su Emme ve Porozite Deneyi

Etüv kuru yoğunluk, doymuş yüzey kuru yoğunluk, görünür yoğunluk, porozite ve su emme deneyleri için 100 mm'lik küp numuneler kullanılmıştır. TS EN 12390-7 [45] numaralı standarda uygun olarak yapılan deneyde numuneler 24 saat suda bırakıldıktan sonra havada ve suda ağırlıkları ölçülmüştür. Değişmez ağırlığa gelinceye kadar 105 °C sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir. Aşağıda verilen formüller yardımıyla; etüv kuru yoğunluk, doymuş yüzey kuru yoğunluk, porozite ve su emme değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Etüv Kuru Yoğunluk} = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \quad (3.2)$$

$$\text{Doymuş Yüzey Kuru Yoğunluk} = \frac{W_3}{W_3 - W_2} \quad (3.3)$$

$$\text{Görünür Yoğunluk} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad (3.4)$$

$$\text{Toplam Su Emme(\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_1} * 100 \quad (3.5)$$

$$\text{Porozite(\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} * 100 \quad (3.6)$$

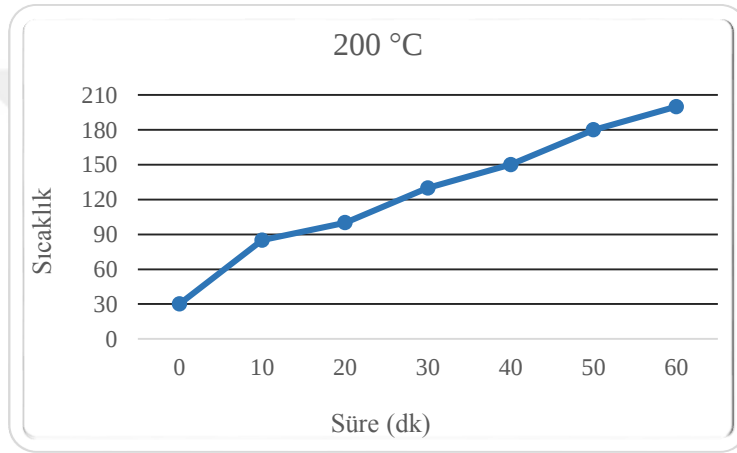
W₁: Numunenin etüv kuru ağırlığı

W₂: Numunenin sudaki ağırlığı

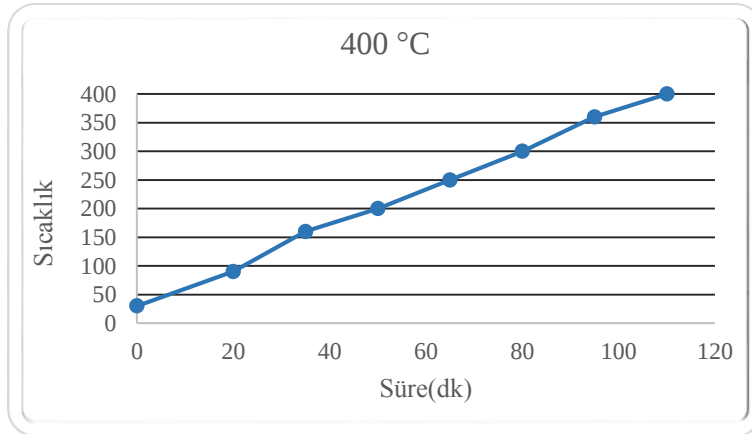
W₃: Numunenin doymuş yüzey kuru ağırlığı

3.5.2. Yüksek Sıcaklık Deneyi

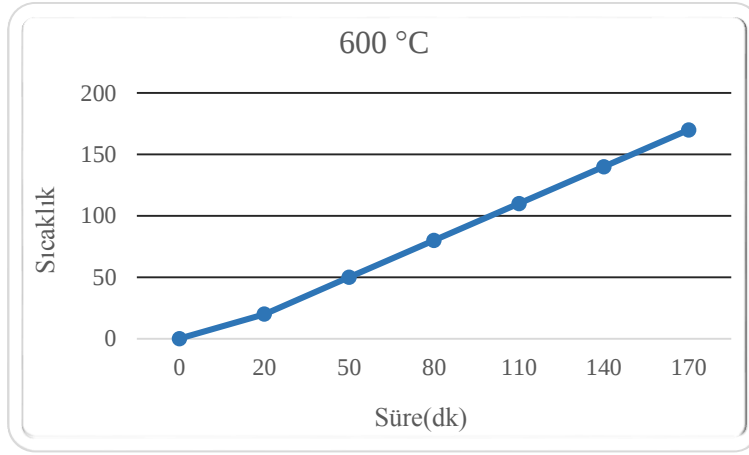
Yüksek sıcaklık etkisi incelenmek üzere sertleşmiş beton numuneleri dört farklı yüksek sıcaklık değerinde bekletilmiştir. Bu sıcaklık değerleri 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C’dir. Numuneler yüksek sıcaklık fırınına bırakılmış olup hedef sıcaklığa ulaştıktan sonra 2 saat boyunca hedef sıcaklıkta bekletilmiştir. Hedef sıcaklığa ulaşmaya kadar geçen sürede numunelerin maruz kaldığı sıcaklık değerleri Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir.



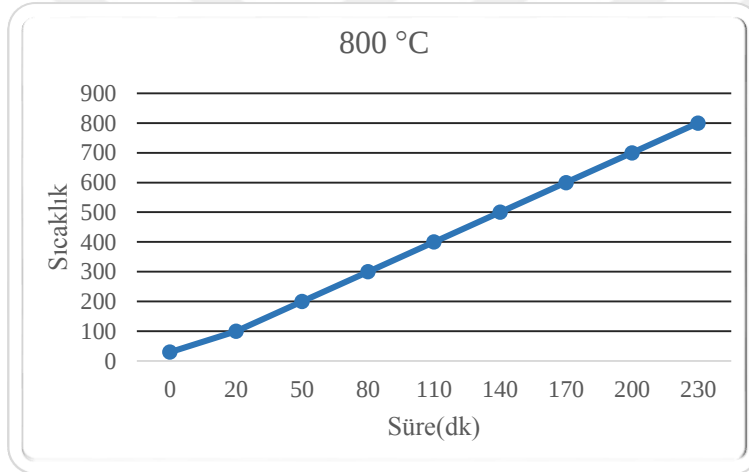
Şekil 03.8. Sıcaklığın 200 °C’ye ulaşması



Şekil 0 3.9. Sıcaklığın 400 °C’ye ulaşma grafiği



Şekil 03.10. Sıcaklığın 600 °C'ye ulaşma grafiği



Şekil 03.11. Sıcaklığın 800 °C'ye ulaşma grafiği



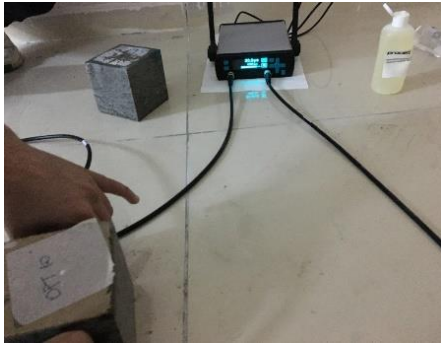
Şekil 03.12. Yüksek sıcaklık fırınındaki numuneler

Numuneler istenilen sıcaklıkta 2 saat bekletildikten sonra UPV ölçümleri ve basınç dayanım deneyinin yapılması için numunelerin oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir.

3.5.3. Ultrasonik Hız Ölçümü(UPV)

Ultrasonik test cihazının kullanılması ile herhangi bir beton bloğun bir yüzüne ultrasonik puls uygulanarak betonun içerisinde basınç dalgaları yaratılmaktadır. Betonun içerisinde ilerleyen ses üstü dalgalar beton bloğun bir başka yüzeyinden geri alınmaktadır. Ultrasonik test cihazı, ses üstü dalganın betona gönderildiği yüzey ile geri alındığı yüzey arasındaki bir mesafeyi ne kadar zaman süresinde geçtiğini ölçmektedir. Ultrasonik cihazın kullanılmasıyla betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmektedir [1].

Ultrasonik hız ölçümleri ASTM C 597 no.lu standarttaki esaslara göre yapılmıştır [46]. Sağlıklı bir ölçüm yapabilmek için numunelere başlık takılacak kısım fırça ile temizlendikten sonra yüzeylere jel sürülmüştür. Dalga gönderici ve dalga alıcı başlık numuneye tamamen temas edecek şekilde bastırılmıştır. Ses üstü dalgaların, dalga gönderici ve dalga alıcı başlıklar arasındaki mesafeyi ne kadar zamanda geçtiği belirlenmiştir.



Şekil 3.13. UPV ile ölçüm yapılması

3.5.4. Basınç ve Eğilme Deneyi

Basınç dayanımı testi için 150*150*150 mm ebadında yüksek sıcaklığa maruz kalan ve kalmayan küp numuneler kullanılmıştır. Basınç dayanımı testi yapılırken TS 12390-3

numaralı standart dikkate alınmıştır [47]. Elde edilen veriler sonuçlar kısmında incelenmiştir.

Eğilme dayanımı testi için 100*100*350 mm ebadında numuneler, betonun eğilme dayanımı tayini yapılırken TS EN 12390-5[48] numaralı standart kullanılmıştır. Üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. 350 mm uzunluğundaki kiriş numune, birbirine uzaklığı 300 mm olan mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve üç noktadan tekil yük uygulanmıştır. Elde edilen veriler sonuç kısmında incelenmiştir.



Şekil 3.14. Basınç ve eğilme deneyleri

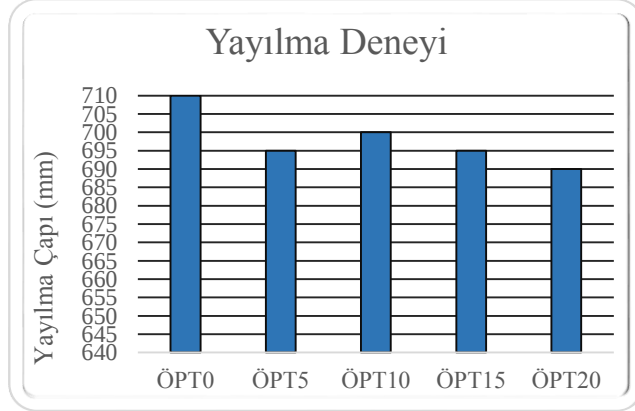
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde ÖPT oranı kademeli olarak artırılan 5 farklı karışımın taze ve sertleşmiş halinde yapılan deney sonuçları sunulmuş ve elde edilen sonuçlar aralarında karşılaştırılarak incelenmiştir.

4.1. Taze Beton Deney Sonuçları

4.1.1. Çökme-Yayılma Deneyi Sonuçları

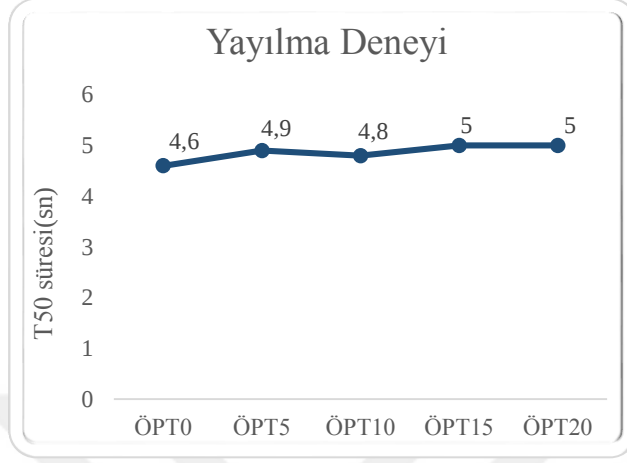
Biri kontrol karışımı olmak üzere 5 farklı karışım üzerinde yayılma deneyi yapılmıştır. Çökme yayılma deneyi için 80*80'lik su geçirmez MDF plaka kullanılmıştır. Yayılan betonun birbirine dik iki doğrultusu ölçülerek ortalaması alınmıştır. Ayrıca 50 cm çapa ulaşınca kadar geçen süre (T_{50}) ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 04.1. Yayılma çapı sonuçları

Üretilen betonun kendiliğinden yerleşen beton olarak adlandırılması için sağlaması gereken en önemli şart yayılma şartıdır. Tüm karışımlarda lif kullanılmasına karşın karışımların tümü 650 mm sınır yayılma değerini geçmiştir. En yüksek yayılma çapına ÖPT kullanılmayan kontrol karışımında ulaşılırken en düşük yayılma çapı ÖPT oranı maksimum olan ÖPT20 kodlu karışımdan elde edilmiştir. ÖPT5 kodlu karışım istisna olmakla beraber ÖPT oranı arttıkça yayılma çapının azaldığı görülmüştür. Çelik lif ile birlikte yüksek oranda

ÖPT kullanımının betonun kendiliğinden yerleşen özelliği kazanmasını zorlaştıracığı görülmüştür.



Şekil 4.2. T50'ye ulaşma süresi sonuçları

50 cm çapa ulaşması için geçen sürelerle baktığımızda toplam yayılma çapıyla orantılı değerler elde edildiği görülmüştür. 50 cm çapa en kısa sürede ulaşan karışım, kontrol karışımı olurken en uzun sürede ulaşan karışım ÖPT15 ve ÖPT20 kodlu karışımı olmuştur. Toplam yayılma çapında olduğu gibi ÖPT oranı arttıkça 50 cm'ye ulaşması için geçen süre de artmıştır.

Karışımların hiçbirinde ayrışma görülmezken yayılma deneyi esnasında da herhangi bir kuma meydana gelmemiştir. Çelik lif kullanımına bağlı olarak betonun tamamen yayılmadığı orta kısmında bir miktar birikme olduğu görülmüştür. Orta kısımda yayılmayan betonun yükseklikleri incelendiğinde yüksekliğin en az ÖPT0 kontrol karışımında olduğu görülmüştür.



Şekil 04.3. ÖPT0 ve ÖPT5 yayılma tablası



Şekil 04.4. ÖPT10 ve ÖPT15 yayılma tablası



Şekil 4.5. ÖPT20 yayılma tablası

4.1.2. V Hunisi Deney Sonuçları

Tüm karışımlar için yapılan V hunisi deneylerin hiçbirinde istenilen sonuçlar elde edilmemiştir. Çelik lif kullanımından dolayı taze betonun huniden akmadığı gözlenmiştir. Yine de yayılma deneyinde istenilen sonuçlar elde edildiği için beton; kendiliğinden yerleşen beton olarak kabul edilmiştir.



Şekil 04.6. V hunisi deneyi

4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.1. Yoğunluk, Su Emme ve Porozite Deney Sonuçları

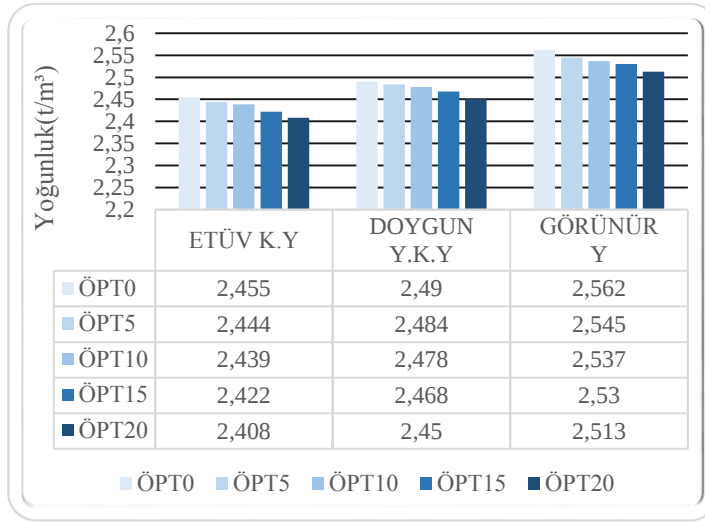
İki değişken arasında değişik ilişkiler değişik şekillerde olabilir. Bazı ilişkiler doğrusal iken bazılarında böyle bir ilişki bulunmayabilir. Bu hususta iki sayısal ölçüm arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin derecesini belirlemek için korelasyon analizleri yapılır. Değişkenler arasındaki ilişki korelasyon katsayısı ile hesaplanır. Korelasyon katsayısı r ile gösterilir ve -1 ile +1 arasındadır. Korelasyon katsayısının -1 olması değişkenler arasında tam negatif doğrusal ilişki olduğu anlamına gelirken +1 olması değişkenler arasında tam pozitif doğrusal bir ilişki olduğunu gösterir. Korelasyon katsayısının 0 olması iki değişken arasında bir ilişki bulunmadığını belirtir. Pearson momentler çarpımı korelasyon katsayısı olarak bilinen r katsayısının yorumu Tablo 4.1’de verilmiştir [49].

Tablo 4.1. Pearson korelasyon katsayısının yorumu

r	İlişki
0.00	İlişki yok
0.01-0.29	Düşük düzeyde ilişki
0.30-0.70	Orta düzeyde ilişki
0.71-0.99	Yüksek düzeyde ilişki
1	Mükemmel ilişki

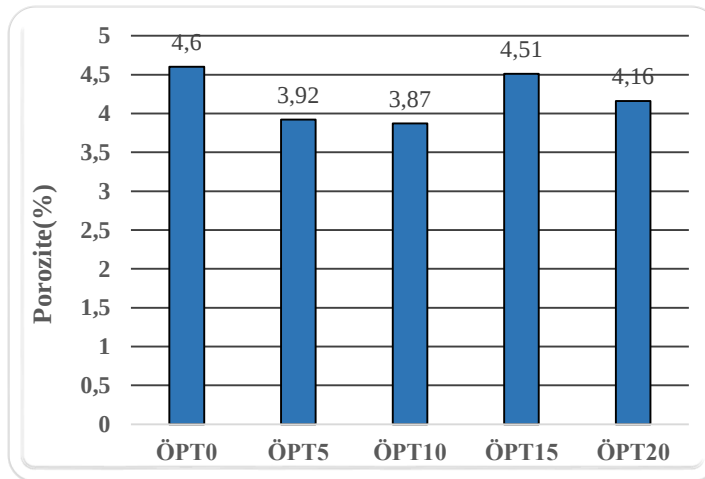
Değişkenlerden birinin toplam değişimin yüzde kaçının diğer değişken tarafından açıklanabildiği determinasyon katsayısı ile ifade edilir. Korelasyon katsayısının karesine eşit olup r^2 ile ifade edilir.

Tüm karışımların 28 günlük kür süresi sonunda etüv kurusu, doymun yüzey kuru ve görünür yoğunlukları ile porozite ve su emme oranları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 04.7. Yoğunluk değerleri

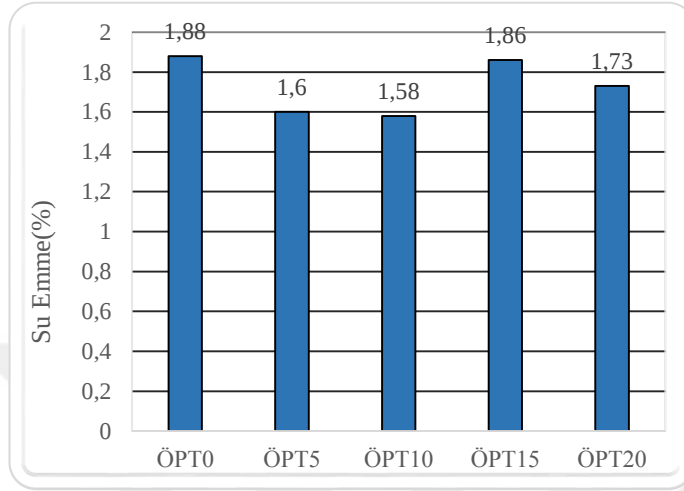
ÖPT oranının kademeli olarak artmasıyla birlikte beton yoğunluklarının azaldığı görülmüştür. Beton karışımlarına çimento yerine belli oranlarda ikameli olarak katılan ÖPT ile betonun yoğunluğu arasında doğrusal bir ilişki vardır. ÖPT oranı arttıkça betonun yoğunluğu azalmaktadır. ÖPT oranı ve yoğunluk arasındaki korelasyon katsayısı -1'e yakındır. Korelasyon katsayısının -1'e yakın olması aralarında tam negatif doğrusal ilişki olduğunu gösterir.



Şekil 04.8. Porozite değerleri

Porozite değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir. En yüksek porozite ÖPT kullanılmayan kontrol karışımında olurken en düşük porozite ÖPT10 kodlu karışımında olmuştur. ÖPT oranı ve porozite değeri arasında net bir ilişki bulunmamaktadır. Bu iki değişken arasında

korelasyon katsayısı 0.138 olarak hesaplanmıştır. Tablo 4.1'e göre bu iki değişken arasında düşük düzeyde bir ilişki vardır. Determinasyon katsayısının 0.19 olması ÖPT oranlarından yola çıkarak poroziteyi tahmin etmenin mümkün olmadığını gösterir.



Şekil 04.9. Su emme değerleri

Şekil 4.9'da tüm karışımların su emme değerleri verilmiştir. Su emme kapasitesi en yüksek olan karışım ÖPT0 kodlu kontrol karışımı iken en düşüğü ÖPT10 kodlu karışımdır. ÖPT ve su emme arasındaki korelasyon katsayısının 0.045 olması bu iki değişken arasında herhangi bir ilişki bulunmadığını gösterir.

Çelikten; çelik lif içeren yüksek dayanımlı beton özelliklerine metakaolin ve öğütülmüş pomzanın etkisi üzerine yaptığı çalışmada, çelik lifli ve çelik lifsiz ÖPT katkılı betonların birim ağırlıklarını 28 günlük kür süresi sonunda çelik lif içeren kontrol karışımı ve %5.10-15.20 ÖPT katkılı karışımlar için sırasıyla 2.506, 2.496, 2.468, 2.468 ve 2.458 t/m³ bulmuştur. Çelik lif içermeyen betonlar için yine aynı karışım oranlarda sırasıyla 2.487, 2.490, 2.459, 2.447 ve 2.420 t/m³ olarak bulmuştur. Birim ağırlıkların ÖPT oranının artmasıyla kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Çelik lifin özgül ağırlığının yüksek olması nedeniyle çelik lif kullanılan betonların birim ağırlıkları daha yüksek olmuştur[27].

Kabay ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmayla öğütülmüş pomza tozu (ÖPT) ve uçucu külün(UK) mineral katkı olarak çimento ikameli kullanılıp betonun boşluk oranı, su emmesi ve kuru yoğunluğu hakkında bir takım sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında kontrol beton (K) numunelerine ek olarak; K+%10 ÖPT, K+%20 ÖPT, K+%10 UK, K+%20 UK, K+ %5 ÖPT+ %5 UK, K+%10 ÖPT + %10 UK içeren karışımlar hazırlanmıştır.

Betonun boşluk oranı ve su emmesi betonun yaşının artmasıyla kademeli olarak azalırken betonun kuru yoğunluğu betonun yaş alması ile artmıştır. Betonların boşluk oranları 7 günlük kür süresi sonunda kontrol betonuna kıyasla %13.4 ile %15.6 arasında değişirken %20 ÖPT ilaveli karışım betondaki boşluk oranının en düşük olduğu karışım olmuştur. Bu durum betondaki gözenek ve boşlukların ÖPT ve UK tarafından doldurulmasıyla açıklanabilir. Betondaki boşluk oranı yaşın artması ile azalırken ÖPT10-UK10, ÖPT20 ve ÖPT5.UK5 kodlu karışımlar 180 günlük kür süresi sonunda en düşük boşluk oranına sahip karışımlar olmuştur. Bu boşluk oranları sırasıyla %8.2, %8.7 ve %8.8'dir. Kontrol karışımında bu değer %11.2'dir. 180 günlük kür süresi sonunda ÖPT ve UK'nin mineral katkı olarak çimento ikameli kullanılması önemli bir etkiye sahiptir. ÖPT ve UK kullanılan karışımların boşluk oranları 180 gün sonunda kontrol betonundan %4.1.26.5 daha azdır. Su emme sonuçları da betonun boşluk oranı ile benzer doğrultuda olmuştur. Kür süresinin artmasına bağlı olarak su emme değeri azalmıştır. ÖPT ve UK'nin su emme üzerinde en önemli etkisi, en düşük su emme değerlerinin elde edildiği 180 günlük kür süresinde ortaya çıkmıştır. Bu kür süresinde ÖPT10-UK10 kodlu karışım %3.4 ile en düşük su emme değerinin elde edildiği karışım olurken kontrol karışımında bu değer %4.7 olmuştur. 7 günlük kür süresinde ise ÖPT20, UK10 ve UK20 kodlu karışımlar su emme değerinin en düşük olduğu karışımlar olmuştur. Bu kür süresinde ÖPT20 karışımının su emme değeri %5.8 ile en düşük su emme değeri olmuştur. Betonun kuru yoğunluğu kür süresinin artmasına bağlı olarak artarken en yüksek değer 180 günlük kür süresinde elde edilmiştir. 7 günlük kür süresinde ÖPT ve UK katkılı betonların kuru yoğunluğu diğer karışımlarda daha düşük olmuştur. 28 günlük kür süresinde en düşük yoğunluğa sahip karışım ÖPT10 ve ÖPT20 karışımları olmuştur [28].

Beycioğlu uçucu kül ve yüksek fırın cüruf katkılı betonların birim ağırlık, su emme ve porozite değerleri için aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

- Kendiliğinden yerleşen beton içindeki uçucu kül ve yüksek fırın cüruf oranı artıkça birim ağırlıkları referans betona göre azalmıştır.
- %20 uçucu kül ikameli betonun su emme ve boşluk oranında bir miktar artış olsa da uçucu kül ikamesi ile betonun su emme ve porozitesi arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Aynı husus yüksek fırın cürufu için de geçerlidir [13].

Khatib çimento yerine %0-80 oranları arasında uçucu kül kullanımının kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisini incelediği çalışmada %80 oranında uçucu kül

kullanılmasıyla kendiliğinden yerleşen betonun su emme oranının %2'nin altına düştüğünü belirtmiştir [50].

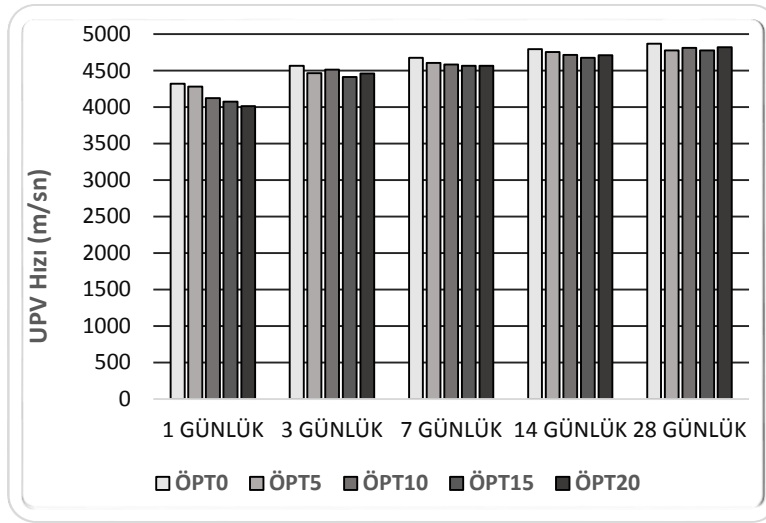
4.2.2. Ultrasonik Hız Deneyi Sonuçları

Ultrasonik test yöntemi ile betonun bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalgaların beton içerisindeki ilerleme hızı hesaplanmaktadır. Betonun içerisinde geçen ses üstü dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak ses üstü dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda ses üstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça ses üstü dalganın hızı daha az olmaktadır [1].

Ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte herhangi bir beton içerisinde geçen ses üstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı ile yakından alakalı olduğu için elde edilen ses üstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurabilmek mümkün olabilmektedir. Whitehurst tarafından yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m^3 olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda ses üstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar Tablo 4.2'de gösterilmektedir [1].

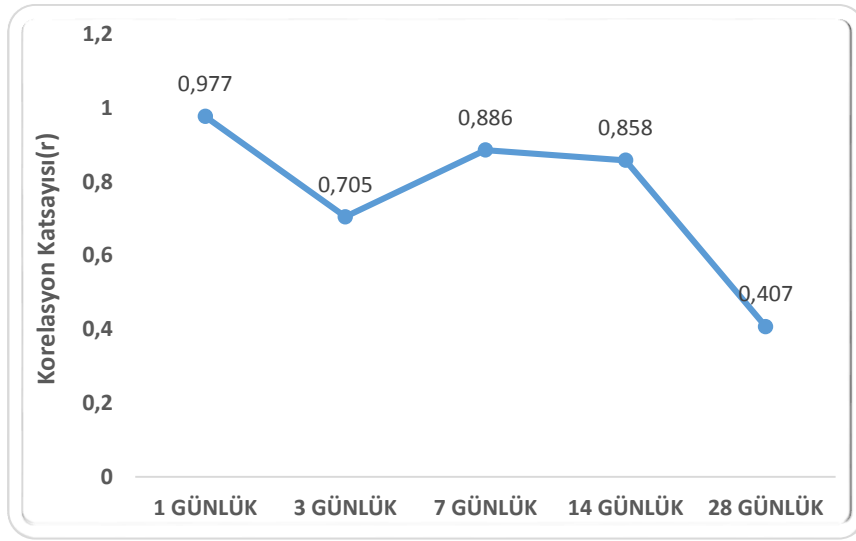
Tablo 04.2. UPV ölçüm yöntemi ile beton kalitesinin değerlendirilmesi

Dalga Hızı, m/s	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Şüpheli
2000-3000	Zayıf
<2000	Çok zayıf



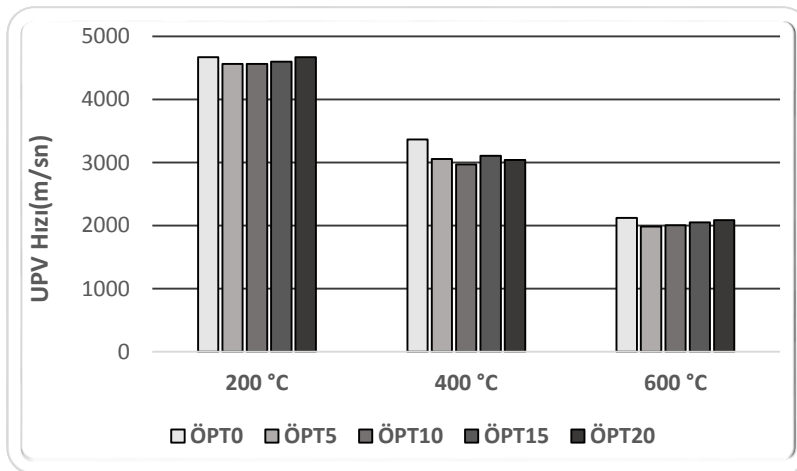
Şekil 4.9. Farklı kür sürelerinde yüksek sıcaklık öncesi UPV ölçümleri

Yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce betonun 1, 3, 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde UPV hızları ölçülmüştür. Betonun kür süresinin artmasına bağlı olarak UPV değerlerinde orantılı bir artış görülmüştür. Şekil 4.10 incelendiğinde tüm kür süreleri için en yüksek UPV hızının ÖPT0 kodlu karışımdan elde edildiği görülmektedir. ÖPT0 kodlu karışımda 1 günlük kür süresinde 4320 m/sn olarak ölçülen dalga hızı, 28 gün sonunda 4870 m/sn hızına ulaşmıştır. ÖPT20 karışımında 1 günlük kür süresinde ölçülen dalga hızı ise 4016 m/sn hızdan 28 gün sonunda 4820 m/sn hıza ulaştığı görülmektedir. Kür süresinin artmasıyla ÖPT kullanılan karışımlarda ölçülen dalga hızının artış oranı kontrol karışımına göre daha yüksek olmuştur. 1 günlük kür süresinde ÖPT0 ve diğer karışımlar arasındaki farkın, kür süresinin uzamasıyla azaldığı görülmektedir. Ayrıca 1 günlük kür süresinde UPV hızı en düşük olan karışım ÖPT20 kodlu karışım iken; 28 günlük kür süresinde ÖPT20 kodlu karışım ÖPT0 kodlu karışımla beraber en yüksek dalga hızına sahip olan karışım olmuştur. Henüz 7 günlük kür süresinde tüm karışımların dalga hızlarının 4500 m/sn üzerinde olduğu görülmüştür. 1 günlük kür süresinde karışımların UPV hızlarında belirgin olan fark diğer kür sürelerinde ortadan kalkmıştır.



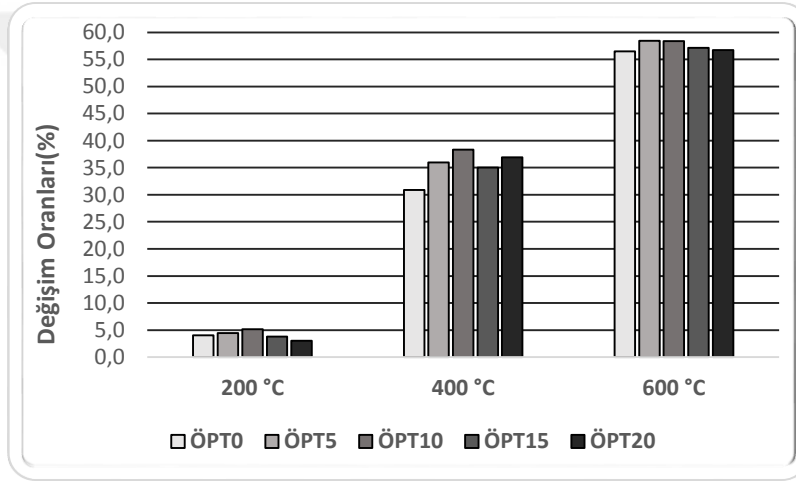
Şekil 4.10. Farklı kür sürelerinde ÖPT oranı ve UPV hızı arasındaki korelasyon katsayıları

ÖPT oranı ve farklı kür sürelerinde ölçülen UPV hızları arasındaki korelasyon katsayıları Şekil 4.11’de verilmiştir. En yüksek korelasyon katsayısı 1 günlük UPV hızında elde edilmiştir. ÖPT oranları ile betonların 1 günlük kür süresi sonunda ölçülen UPV hızları arasındaki korelasyon katsayısının 1’e yakın olması bu iki değişken arasında tam korelasyon olduğunu göstermektedir. 3, 7 ve 14 günlük korelasyon değerleri de yüksek olmuştur. 28 günlük kür süresi sonunda ÖPT oranı ve UPV hızı arasındaki korelasyonun önemli oranda azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak 28 günlük kür süresinde ÖPT’nin kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip yeni CSH jelleri oluşturarak boşlukları azaltması gösterilebilir.



Şekil 04.11. Farklı sıcaklıklarda UPV ölçümleri(28 günlük kür süresi)

Tüm karışımlar 28 günlük kür süresinde bekletildikten sonra 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Fırından çıkarılan numunelerin oda sıcaklığına kadar soğuması beklendikten sonra UPV ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen UPV ölçüm değerleri Şekil 4.12’deki grafikte verilmiştir. 200 °C’de tüm karışımların UPV hızlarının 4500 m/sn üzerinde olduğu görülmektedir. 400 °C de UPV hızlarında keskin bir azalma görülürken UPV hızının en yüksek olduğu karışım ÖPT0 kodlu karışım olmuştur. Bu sıcaklık değerinde tüm karışımlarda ölçülen dalga hızları 3000 m/sn’nin üstünde olmuştur. 600 °C sıcaklıkta UPV hızlarındaki keskin azalma devam ederken tüm karışımların UPV hızlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. 800 °C’de ise tüm karışımların beton numunelerinde önemli çatlamlar meydana geldiği için UPV ölçümleri yapılamamıştır.



Şekil 04.12. UPV değerlerinin değişim oranları (%)

UPV hızlarında meydana gelen değişim Şekil 4.13’de gösterilmiştir. 200 °C sıcaklıkta UPV hızlarında en yüksek azalma oranı ÖPT10 kodlu karışımda görülürken azalma oranı en düşük olan karışım ÖPT20 kodlu karışım olmuştur. 400 °C’ de tüm karışımlarda ölçülen UPV hızlarında net bir düşüş meydana gelmiştir. 400 °C’de tüm karışımların UPV hızlarında meydana gelen azalma miktarı %30’u geçerken en yüksek azalma oranı yine ÖPT10 kodlu karışımda meydana gelmiştir. En düşük azalma oranı ise %30,9 ile ÖPT0 kodlu kontrol karışımında elde edilmiştir. 600 °C sıcaklıkta UPV hızında meydana gelen azalma oranı % 55’i geçerken en yüksek azalma oranı tekrardan ÖPT10 kodlu karışım olmuştur. Bu sıcaklık değerinde karışımlarda ölçülen UPV hızlarındaki yüzdece değişimler arasındaki fark azalmıştır. Tüm karışımlarda ölçülen dalga hızları birbirine yakın oranlarda azalmıştır. 200 °C sıcaklıkta UPV hızlarında kayda değer bir azalma olmamışken 400 °C ve 600 °C sıcaklığa

maruz kalan numunelerde UPV değerlerinin önemli oranlarda azaldığı görülmüştür. 800 °C derecede ise ölçüm dahi yapılamaması betonda oluşan çatlak ve boşluklarının ne denli arttığı konusunda bize fikirler vermektedir. ÖPT oranları ile yüksek sıcaklığa maruz kalan betonların UPV ölçümleri arasındaki korelasyon incelendiği zaman yalnızca 400 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler ve ÖPT oranı arasındaki korelasyon değeri görece yüksek olmuştur. Bu iki değişken arasındaki korelasyon katsayısı 0.628'dir. Değişkenler arasında tahmin yapılmasını sağlayan determinasyon katsayısı ise 0.394'tür. %39.4 doğru tahmin yapılabileceği anlamına gelen bu katsayı bu iki değişken arasında iyi bir ilişki olmadığını göstermektedir.

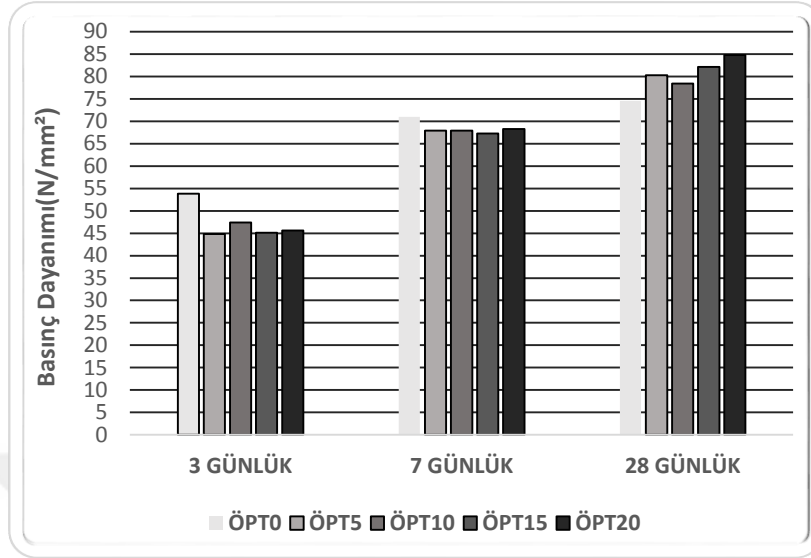
Dolgun, öğütülmüş pomza kullanımının KYB'lerde kullanılabilirliği üzerinde yaptığı çalışmada UPV hızlarının zamana bağlı olarak arttığını belirterek UPV hızındaki artış oranının basınç dayanımındaki artış oranından daha az olduğunu belirtmiştir. 3 günlük kür süresinde en yüksek hız 4,44 km/sn ile kontrol betonundan elde edilirken 28 günlük kür süresinde en yüksek hız değerini ÖPT oranının %20 olduğu karışımdan elde etmiştir. Yine aynı kür süresinde en düşük UPV hızı 4,55 km/sn hızla kontrol karışımında elde etmiştir [24].

Şahin, çimento ikameli %5, %10 ve %20 silis dumanı mineral katkısı kullanarak ürettiği betonlarda 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklıkta yüksek sıcaklık etkisini incelemiştir. Tüm sıcaklıklarda en yüksek UPV hızını %5 katkılı betonlardan elde etmiştir. %5 katkılı betonların 20, 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklık değerlerinde UPV hızları referans beton değerinden sırasıyla %7.76 , %10.51 , %8.7 , %13.37 ve % 7.58 daha fazla olmuştur. UPV hızındaki en keskin düşüşün 600 °C'de olduğunu belirtmiştir [51].

Mahsanlar, 10*20 cm boyutlarındaki numuneleri 100, 200, 300, 600,900 ve 1200 °C sıcaklığa maruz bırakmıştır. Betonda boşluk oranını azaltan silis dumanı ses geçiş süresini azaltarak en yüksek ses geçiş hızının elde edilmesini sağlamıştır. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak betonda artan boşluklar ses geçiş hızlarını tüm serilerde azaltmıştır [52].

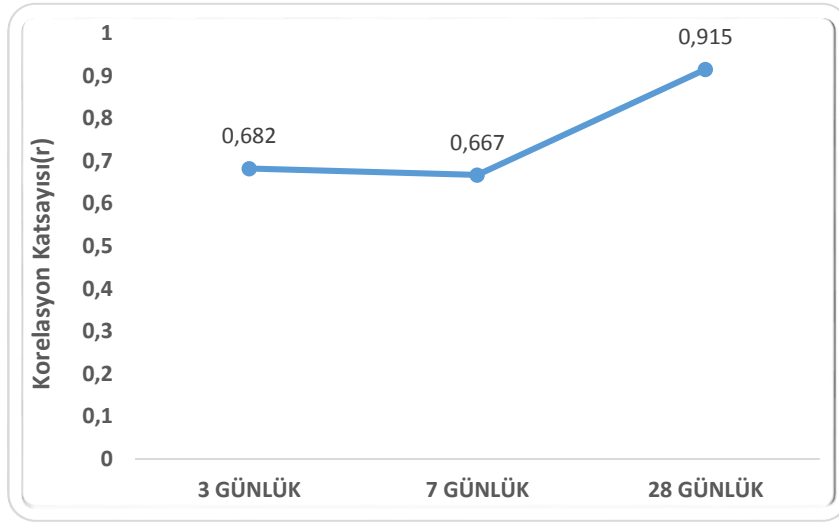
Handoo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise ultrasonik ses dalgası ölçümlerinin 300 °C üzerinde azaldığı belirtilmiştir. Yaptıkları morfolojik çalışmada kalsiyum hidroksit kristallerinin ve CSH jelinin 600 °C sıcaklığın üzerinde bozulduğu vurgulanmıştır [53].

4.2.3. Basınç ve Eğilme Deneyi Sonuçları



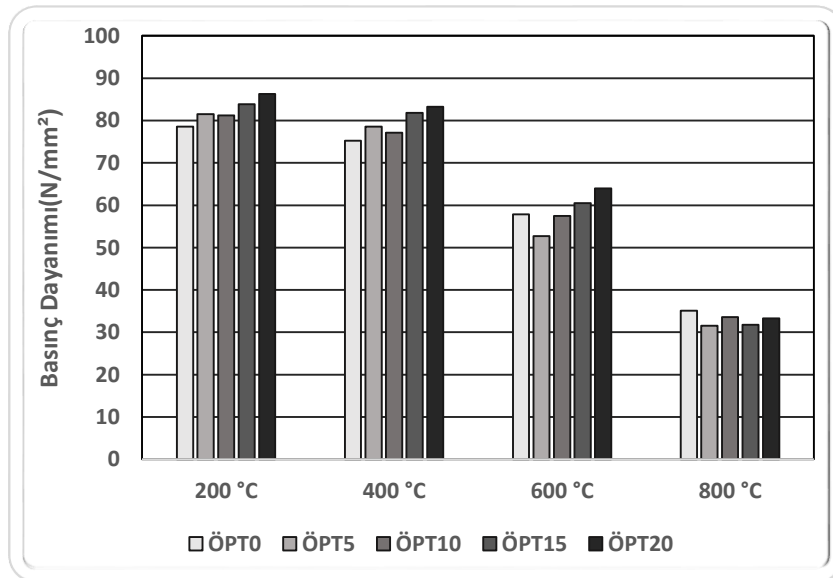
Şekil 4.13. Farklı kür sürelerinde yüksek sıcaklık öncesi basınç değerleri

Tüm karışımlara 3, 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.14’de verilmiştir. 3 günlük kür süresi sonunda en yüksek dayanım ÖPT0 kodlu kontrol karışımından elde edilmiştir. Hidratasyon henüz tamamlanmadığı için 7 günlük kür süresi sonunda da bu durum değişmemiştir. 3 günlük kür süresinde en düşük dayanım 44.8 N/mm² ile ÖPT5 karışımı olurken en yüksek dayanım 53.8 N/mm² ile ÖPT0 karışımı olmuştur. Yine aynı kür süresinde ÖPT20 betonunun dayanımı 45.59 N/mm²’dir. Betondaki hidratasyonun tamamlanmaya başladığı 28 günlük kür süresinde ise en düşük dayanım 74.58 N/mm² ile ÖPT0 karışımından elde edilirken en yüksek dayanım 84.75 N/mm² ile ÖPT20 betonundan elde edilmiştir. Betonda hidratasyonun tamamlanmaya başladığı 28 günlük kür süresi sonunda en yüksek dayanımın ÖPT oranının en fazla olduğu ÖPT20 kodlu karışımda, en düşük dayanımın ise ÖPT0 kodlu karışımda olması mineral katkı olarak kullanılan pomzanın kalsiyum hidroksit ile tepkimeye girerek betona dayanımını sağlayan yeni CSH oluşturmamasından ötürüdür. Betonda mineral katkı olarak ÖPT kullanılması betonun 28 günlük dayanımında önemli miktarda artış sağlamıştır. 28 gün sonunda %20 oranında öğütülmüş pomza kullanılan beton, pomza oranının %0 olduğu betondan %13.6 daha fazla dayanıma sahip olmuştur.

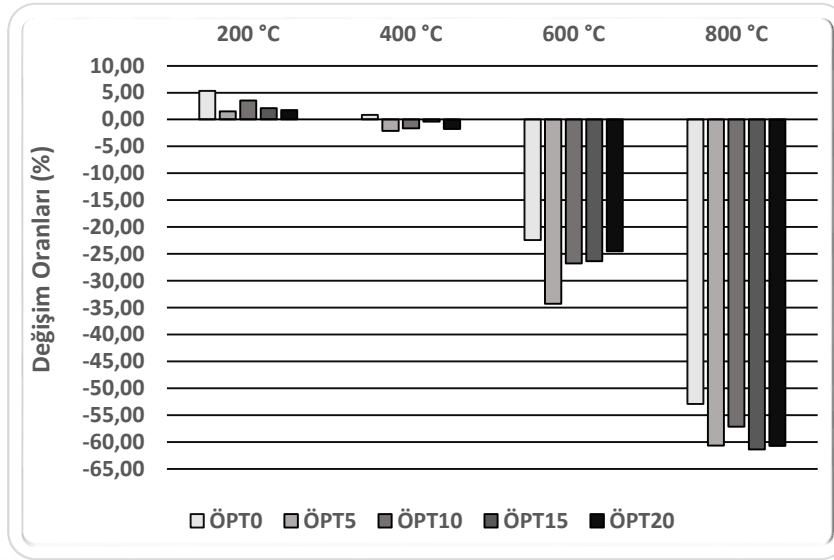


Şekil 4.14. Farklı kür sürelerinde ÖPT oranı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları

ÖPT oranı ve farklı kür sürelerindeki basınç dayanımları arasındaki korelasyon katsayıları Şekil 4.15’de verilmiştir. En yüksek korelasyon katsayısı 28 günlük basınç dayanımlarında elde edilmiştir. Yine aynı kür süresinde determinasyon katsayısı 0.838 dir. Yani bu iki değişken arasında %83.8 oranında doğru tahmin yapılabilir.



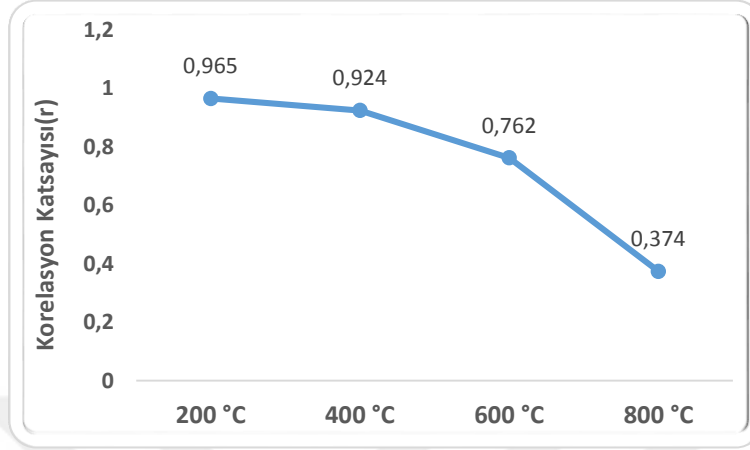
Şekil 04.15. Farklı sıcaklıklarda basınç dayanımları (28 günlük kür süresi)



Şekil 04.16. Basınç dayanımlarının değişim oranları (%)

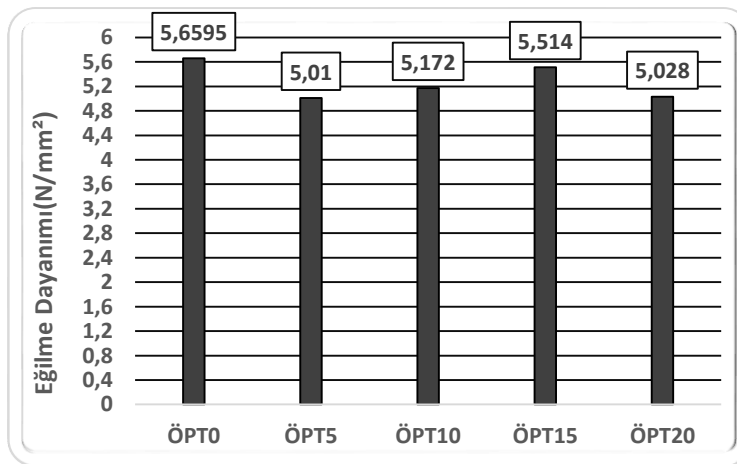
Beton numuneler dört farklı sıcaklık değerine maruz kaldıktan sonra elde edilen basınç dayanımı değerleri ve her bir sıcaklıkta betonun dayanımındaki değişimler Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’deki grafiklerde verilmiştir. 200 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerin basınç dayanımlarında artış görülmüştür. ÖPT20 betonunun basınç dayanımı 86.24 N/mm²’ye yükselmiştir. Bu artış oranının en yüksek olduğu karışım ise %5.34 ile ÖPT0 kodlu karışım olurken en az artan karışım %1.55 ile ÖPT5 kodlu karışım olmuştur. 200 °C sıcaklıkta tüm karışımlarda belli oranlarda artış görülse de ÖPT oranı ile meydana gelen artış yüzdesi arasında bir ilişki bulunmamaktadır. 400 °C sıcaklıkta ise sadece ÖPT0 kodlu karışımın basınç dayanımı %0,88 oranında artarken diğer karışımların dayanımlarında çok az bir oranda azalma görülmüştür. Bu sıcaklıkta azalmanın en yüksek olduğu karışım %2.09 ile ÖPT5 karışımı olurken en az değişim %0.38 ile ÖPT15 karışımında olmuştur. 600 °C sıcaklıkta basınç dayanımında en fazla kayıp %34.28 ile ÖPT5 kodlu karışımında olurken kayıp oranı en az olan karışım %22.42 ile ÖPT0 kodlu karışım olmuştur. Bu sıcaklık değerinde ÖPT20 kodlu betonun dayanımındaki kayıp %24.53 ile ÖPT0 kodlu karışıma yakın olmuştur. 800 °C de ise bir önceki sıcaklığa benzer olarak basınç dayanımında en az kayıp olan karışım %52.94 ile ÖPT0 kodlu karışım olmuştur. ÖPT5, ÖPT15 ve ÖPT20 kodlu karışımlarda kayıp oranı %60’ı geçmiştir. Bu sıcaklıkta dayanımda en fazla kayıp %61.35 ile ÖPT15 betonunda görülmüştür. Basınç dayanımında ilk keskin düşüş 600 °C sıcaklıkta olmuştur. Bu sıcaklıktaki dayanımlarda kayıp miktarı %22.4.34.28 arasındadır. 800 °C

sıcaklıkta betonun dayanımının ancak %40'ını koruyabilmesi bu sıcaklık değerinin kritik olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.17. Farklı sıcaklıklarda ÖPT oranı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları

Farklı sıcaklıklarda ÖPT oranı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları Şekil 4.18 de verilmiştir. 200 °C ve 400 °C sıcaklıkta karışımlar sıcaklıktan etkilenmedikleri için ÖPT oranı ve basınç dayanımları arasındaki korelasyon katsayısı yüksek olmuştur. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte basınç dayanımlarının aynı oranlarda azalmaması sebebiyle 600 °C ve 800 °C sıcaklıklarda malum iki değişken arasındaki korelasyon katsayısı azalmıştır.



Şekil 4.18. Eğilme dayanımları(28 günlük kür süresi)

Tüm karışımlarda çelik lif oranı metreküpte 20 kilogram kullanılmak üzere sabit tutulmuştur. Çelik lif, betonu yarı sünek hale getirerek betonun enerjisi yutabilme kapasitesini artırır. Çelik lif kullanılan betonların taşıma gücüne ulaştıktan sonra dayanımlarındaki azalma hızlarının çelik lif kullanılmayan betonlardan daha az olduğu bilinmektedir. 10*10*350 mm boyutundaki numuneler 28 günlük kür süresinde bekletildikten sonra elde edilen eğilme dayanımları Şekil 4.19’da verilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı ÖPT0 kodlu karışımdan elde edilirken ÖPT5 kodlu karışım en düşük dayanıma sahip karışım olmuştur. Tüm karışımlarda eğilme dayanımı 5 N/mm²’nin üzerinde olmuştur. ÖPT oranı ile eğilme dayanımı arasında bir ilişki kurulamamıştır.

Kurt yaptığı çalışmada %10, %20, %30 ve %40 uçucu ve silis dumanı katkılı betonların 200 °C sıcaklıkta tüm karışımların basınç dayanımlarında artış olduğunu belirtmiştir. 400 kg bağlayıcı malzeme dozlu karışımda silis dumanı eklenen karışımların hepsinde 400 °C az bir oranda artış meydana gelirken 300 bağlayıcı malzeme dozlu silis dumanlı katkıların hepsinde 400 °C sıcaklıkta az bir oranda azalma meydana gelmiştir. 400 bağlayıcı malzeme dozlu %20, %30 ve %40 uçucu kül ikameli betonların basınç dayanımları 400 °C sıcaklıkta artarken %10 uçucu kül ikameli betonların basınç dayanımları azalmıştır [54].

Şahin, %5, %10 ve %20 oranlarında silis dumanı ikameli betonları 28 günlük kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakmıştır. Bu sıcaklık değerleri 200, 400, 600 ve 800 °C’dir. Deney sonunda %5 silis dumanı ikameli betonların tüm sıcaklık değerlerinde en yüksek basınç dayanımı değerine ulaştığını belirtmiştir [50].

Karagöz, kırma kumlu harçlarda mineral katkı kullanımıyla beraber betonda meydana gelen genleşmelerin azaldığını belirtmiştir. Isıl genleşme katsayıları 900 °C’den sonra belirgin bir şekilde azalarak büzülme haline geçmiştir. Bunun sonucu olarak da 900 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda harçlar tamamen deforme olmuştur. Harçların tamamen deforme olması eğilme ve basınç dayanımlarının sıfır olmasına neden olmuştur [35].

4.2.4. Çelik Liflerin Beton İçerisindeki Mikroskobik Görüntüsü

Yangın sırasında betonda görülen önemli risklerden biri de betonun parçalanarak patlama riskidir. Yüksek sıcaklıklarda betonun parçalanmasını engellemek için betonda lifler kullanılır. Xiao ve Falkner, 50, 80 ve 100 N/mm² dayanıma sahip lifli ve liffsiz betonları

900 °C'ye kadar ısıttıktan sonra lifsiz betonlarda parçalanma olayına rastlarken lif ile üretilen betonlarda bu durum ile karşılaşmamışlardır [55].



Şekil 4.19. 600 °C sıcaklıktan sonra beton numunesi



Şekil 04.20. 800 °C sıcaklıktan sonra beton numunesi

Şekil 4.20'de 600 °C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra numunelerin görüntüsü verilirken Şekil 4.21'de 800 °C sıcaklığa maruz kalan numune görülmektedir. 600 °C sıcaklıktan sonra beton numunenin içerisinde büyük boşluklar oluştuğu bilinse de yüzeyinde gözle görülebilir çatlaklar oluşmamıştır. 800 °C'de ise numune yüzeyinde çatlamlar

meydana gelse de elik lif kullanımına bağlı olarak betonda herhangi bir parçalanma meydana gelmemiştir. Bu durum OPT oranı farklı tüm karışımlar için aynıdır. OPT'nin farklı oranlarda kullanılmasının betonda gözle fark edilebilecek çatlak oluşumuna etkisi bulunmamaktadır.

elik lifli KYB'lerin basınç deneyleri yapıldıktan sonra elik liflerin beton içerisindeki görüntüleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. şekil 4.22 ve şekil 4.23'de 600 C ve 800 C sıcaklığa maruz kalan numunelerde elik lif ile beton arasında aderans kalmadığı, elik liflerin betondan kolayca ayrıldığı görülmektedir. Bu sıcaklık değerlerinden sonra 'Beton numuneler içerisindeki elik lifin tamamı el ile rahatlıkla ayıklanabilir' ifadesinin kullanılması elik lifin beton içerisindeki durumu net bir şekilde açıklayacaktır.



şekil 4.21. 800 C'de beton içerisindeki elik liflerin görüntüsü



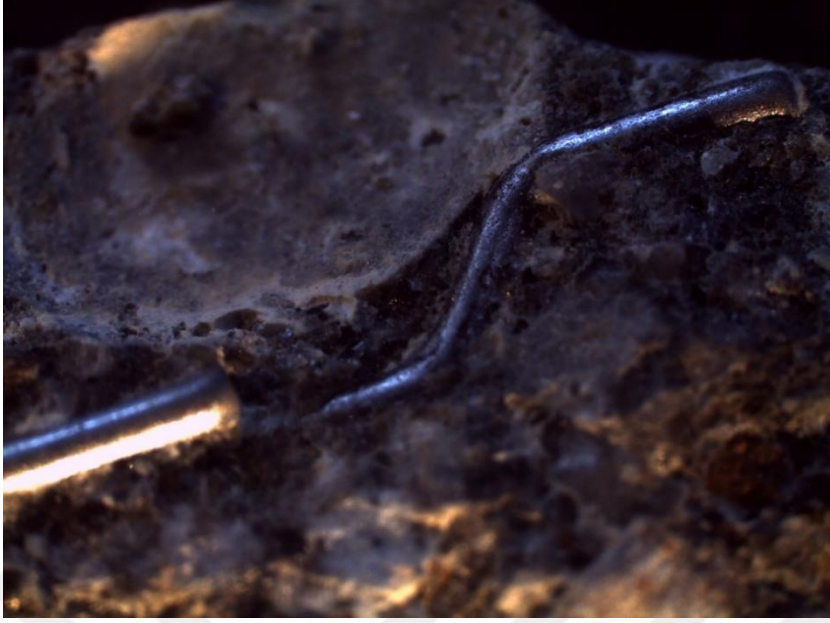
şekil 4.22. 600 C'de beton içerisindeki elik liflerin görüntüsü

400 °C sıcaklığa maruz kalıp basınç deneyi yapıldıktan sonra kırılan kendiliğinden yerleşen çelik lifli betonda çelik lifin görüntüsü Şekil 4.24 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere beton numune kırıldıktan sonra 600 °C ve 800 °C sıcaklıklarda olduğu gibi tamamen dağılmamıştır. Çelik lif ile beton aderansında gözle görülür bir azalma meydana gelmiştir. Çelik lif ile beton arasında oluşan aderans çimento hamuru ile sağlanır. Çimento hamurunun bozulmaya başladığı sıcaklık 500 °C olduğu için, 400 °C sıcaklıkta çelik lif ile beton arasındaki aderans, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan betonlara kıyasla azalsa da hala devam etmektedir.



Şekil 4.23. 400 °C’de beton içerisindeki çelik liflerin görüntüsü

Çelik lif ile beton arasındaki ayrışmayı daha iyi görebilmek için basınç deneyinde kırılan numunelerden alınan parçalar yüksek çözünürlüğe sahip mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da yüksek sıcaklığa maruz kalmayan 28 günlük kür süresi uygulanmış beton numunesi görülmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan oda koşullarında bulunan KYB’de çelik lifin betondan ayrılmadığı, çelik lif ve beton arasındaki aderansın yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 04.24. Yüksek sıcaklığa maruz kalmayan beton numunesi



Şekil 4.25. Yüksek sıcaklığa maruz kalmayan beton numunesi

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de ise 200 °C sıcaklığa maruz bırakılan beton numuneleri görülmektedir. 200 °C sıcaklıkta çelik lif ve beton arasında ayrışma görülmediği; aralarındaki aderansın yüksek sıcaklığa maruz kalmayan numunelerden farklı olmadığı tespit edilmiştir. 200 °C sıcaklıkta basınç dayanımının artması, çelik lif ve beton arasında bu sıcaklıkta ayrışma meydana gelmediğini destekler niteliktedir.



Şekil 04.26. 200 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi



Şekil 4.27. 200 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi

400 °C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra çelik lif ve beton arasındaki mikroskobik görüntü Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da verilmiştir. Bu sıcaklık değeri, çelik lif ile beton arasındaki ayrışmanın başladığı sıcaklık olmuştur. Çelik lif ve beton arasında ayrışmanın başladığı ancak aralarındaki aderansın devam ettiği görülmektedir



Şekil 4.28. 400 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi



Şekil 04.29. 400 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi

Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de 600 °C’ye maruz kalan numuneler verilmiştir. Çelik lif ve beton arasındaki ayrışma 400 °C’den 600°C’ye geçerken oran olarak en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Basınç dayanımlarında keskin bir azalma da 400 °C’den 600 °C’ye geçerken olmuştur. Sıcaklığın artmasıyla birlikte çimento hamur fazından daha farklı ısıl genleşme

katsayısına sahip olan agregalar çimento fazı içerisinde kayma gerilmeleri oluşturarak betonun çatlamasına yol açarlar. Agregaların mineral yapısı da betonun hasar görmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Kumların çoğunluğu oluşturan kuvarz sıcaklığın 500 °C'yi aşmasıyla alfa kuvarzdan beta kuvarza dönüşür. Bu dönüşümün sonucu olarak betonda hacim genişmesi meydana gelir ve betonda hasar oluşur [56]. Betonun basınç dayanımında meydana gelen ani düşüşün 600 °C sıcaklıkta olması ve 500 °C'den sonra betonun alfa kuvarzdan beta kuvarza dönüşerek hacim genişmesine yol açması çelik lif ile beton arasındaki aderansın ortadan kaybolmasını açıklamaktadır.



Şekil 04.30. 600 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi



Şekil 04.31. 600 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi

800 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerin görüntüleri Şekil 4.33, 4.34 ve 4.35’de verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü üzere çelik lif betondan tamamen ayrılmıştır. Bu sıcaklık değerinde çelik lif ve beton arasında herhangi bir adanstan söz etmek mümkün değildir.



Şekil 04.32. 800 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi



Şekil 04.33. 800 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi



Şekil 04.34. 800 °C sıcaklığa maruz kalan beton numunesi

Aydın ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yüksek sıcaklıklarda betonun basınç dayanımına çelik liflerin olumlu katkılarının olmadığı belirtilmiştir [57].

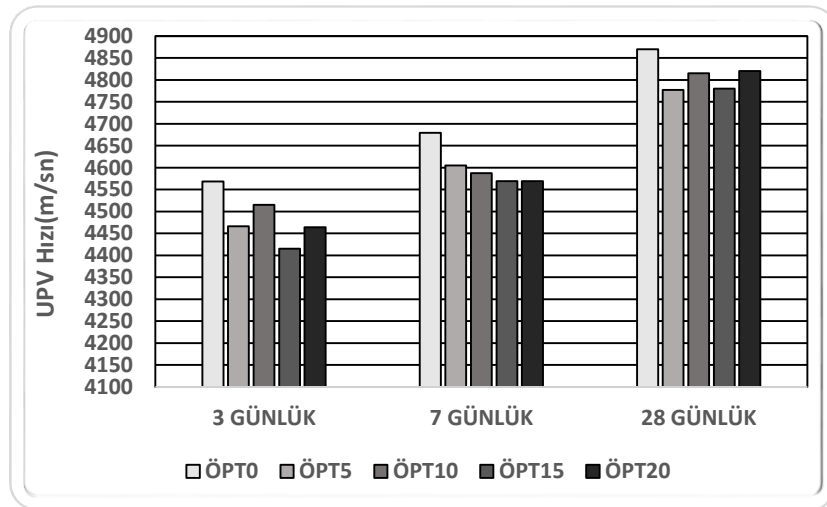
Lau ve Anson, %1 oranında çelik lif içeren betonları 1200 °C'ye varan sıcaklık değerlerine maruz bıraktıktan sonra betonların basınç ve eğilme dayanımları ile Elastisite

modüllerini inceledikleri çalışmada lif kullanımının betonda 1200 °C'ye kadar olumsuz bir etkisi olmadığı gibi betonun mekanik özelliklerini de geliştirdiğini belirtmişlerdir [58].

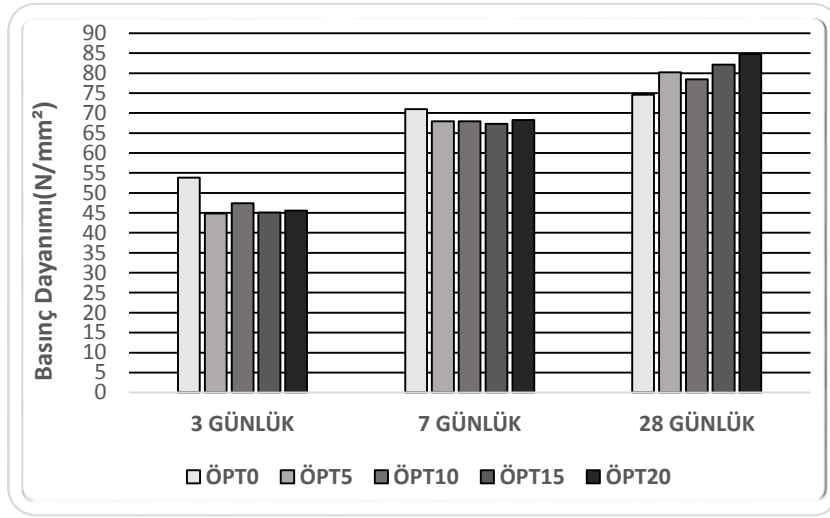
4.2.5. UPV Hızı-Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Betonun bir ucundan gönderilip diğer ucundan alınan ses dalgalarının hızı betonun yoğunluğuna bir başka deyişle boşluk oranına bağlı olarak değişir. Boşluk miktarı fazla olduğu zaman ses dalgası boşlukta yayılarak betonun diğer ucuna geçiş süresini uzatır. Dolayısıyla ses dalgalarının hızı azalır. Betonun basınç dayanımı da beton içindeki boşluklara bağlı olarak değişir. Boşluk miktarı azaldıkça betonun basınç dayanımı artar.

Betonun içindeki boşluk oranına aynı orantı türüyle bağlı olan UPV hızı ile basınç dayanımı arasında ilişki bulunması da kaçınılmaz olmaktadır. Betonun üç farklı kür süresinde ölçülen UPV hızları Şekil 4.36, basınç dayanımı ise Şekil 4.37'de verilmiştir. 3 günlük kür süresinde en yüksek UPV hızı ile en yüksek basınç dayanımı ÖPT0 kodlu karışımda elde edilmiştir. Yine aynı kür süresinde en düşük UPV hızları ve en düşük dayanım değerleri ÖPT5 ve ÖPT15 kodlu karışımlarda meydana gelmiştir. 7 günlük kür süresinde en yüksek UPV hızı ve en yüksek dayanım ÖPT0 kodlu karışımda olmuştur. Aynı kür süresinde diğer karışımlarda net bir ilişki kurulamamıştır. 28 günlük kür süresinde ise ÖPT0 kodlu karışım en düşük basınç dayanımına sahip olmasına karşın UPV hızının en yüksek olduğu karışım olmuştur. 3 günlük kür süresinde UPV değerleri ile basınç dayanım değerleri arasında doğru bir orantı görülürken kür süresinin artmasıyla bu orantının kaybolduğu görülmektedir.

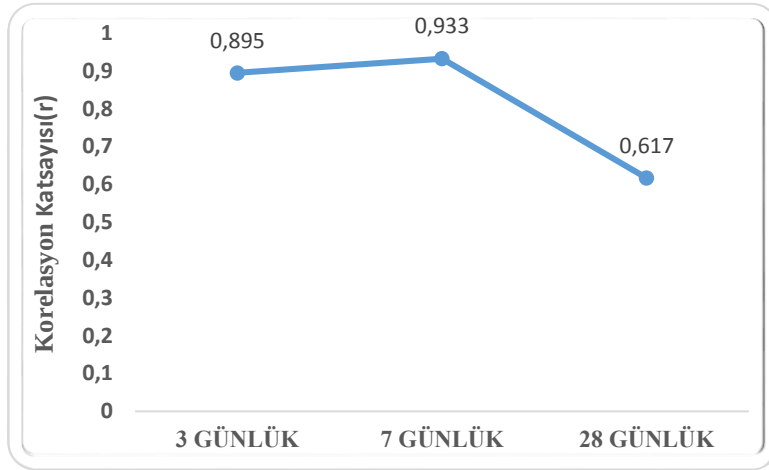


Şekil 04.35. Farklı kür sürelerinde UPV hızları



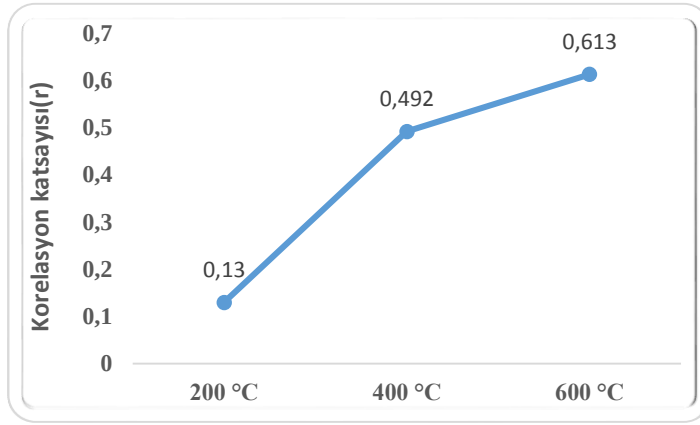
Şekil 04.36. Farklı kür sürelerinde basınç dayanımı

Beton numuneler yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra UPV hızı ile basınç dayanımı arasında ilişki yüksek sıcaklık öncesi kurulan ilişkiden uzaktır. Tüm karışımların UPV hızları maruz kalınan her sıcaklıktan sonra azalırken basınç dayanımları 200 °C sıcaklıktan sonra artmıştır. 400 °C de tüm karışımların UPV hızları keskin bir şekilde azalırken kontrol karışımının basınç dayanımı %5.34 oranında artmış, ÖPT kullanılan karışımların dayanımı ise %0.38.2.09 oranları arasında azalmıştır. UPV hızlarındaki bu azalma oranı %30.9.38.3 arasındadır. UPV hızının keskin bir şekilde azaldığı sıcaklık 400 °C iken basınç dayanımının keskin olarak azaldığı sıcaklık 600 °C olmuştur. Görüldüğü üzere yüksek sıcaklık uygulanan kendiliğinden yerleşen lifli betonlarda yüksek sıcaklıklardan sonra UPV hızı ve basınç dayanımı arasında net bir ilişki bulunmamaktadır.



Şekil 4.37. Farklı kür sürelerinde UPV hızı ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları

UPV hızları ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayısı bu iki değişken arasındaki ilişkiyi görmemiz açısından oldukça önemlidir. Şekil 4.38’de farklı kür sürelerinde yüksek sıcaklık uygulanmadan önce UPV hızları ve basınç dayanımları arasındaki ilişki verilmiştir. 3 ve 7 günlük kür süresinde korelasyon katsayısı yüksek iken kür süresinin artmasıyla UPV ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayısının azaldığı görülmektedir. Kür süresinin artmasıyla ÖPT, kalsiyum hidroksit ile tepkimeye girerek yeni CSH jelleri oluşturmuştur. Yeni oluşan bu CSH jelleri hem ses üstü dalga hızını hem de basınç dayanımını yükseltmiştir. Ancak 28 gün sonunda basınç dayanımları ve dalga hızları incelendiğinde yeni oluşan CSH jellerinin dalga hızları üzerindeki etkisinin, basınç dayanımı üzerindeki etkisi kadar olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 04.38. Farklı sıcaklıklarda UPV hızları ve basınç dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları

Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra UPV hızları ve basınç dayanımları arasındaki Korelasyon katsayıları incelendiği zaman sıcaklık artışı ile birlikte korelasyon katsayısının da arttığı Şekil 4.39’da görülmektedir. Değişkenler arasındaki en yüksek korelasyon katsayısı 600 °C sıcaklıkta elde edilmiş olmasına karşın bu değer de UPV hızı ve basınç dayanımı arasında iyi bir tahmin yapmak için yeterli değildir. Yüksek sıcaklığa maruz kalmadan özellikle 3 ve 7 günlük kür süresi için bu değişkenler arası korelasyon katsayısı yüksek iken yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra bu katsayılar önemli ölçüde azalmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Bitlis yöresi pomzası ince taneli öğütölüp %5, %10, %15 ve %20 oranlarında mineral katkı olarak kullanılmıştır. Öğütölümüş pomza tozu kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen lifli betonlarda yüksek sıcaklık etkisi incelenmiştir. Üretilen numuneler 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır.

- ÖPT oranının artırılmasıyla tüm karışımların özgül ağırlıkları kademeli olarak azalmıştır.
- Tüm karışımların su emme oranı %2'nin altında olmuştur. En yüksek su emme değeri %1,88 ile kontrol karışımından elde edilirken en düşük su emme oranı %1,58 ile ÖPT10 kodlu karışımından elde edilmiştir. ÖPT kullanılan betonların su emme oranlarının kontrol karışımından daha düşük olması ÖPT'nin beton içerisindeki gözenek ve boşlukları doldurmasından ötürüdür.
- En yüksek porozite ÖPT0 karışımından elde edilirken en düşük değer ÖPT10 karışımından elde edilmiştir. Porozite ve su emme oranları aynı doğrultuda olmuştur. ÖPT oranı ve porozite arasında korelasyon bulunmamaktadır.
- Kür süresi arttıkça beton numunelerinde ölçülen UPV hızlarında artış meydana gelmiştir. 1 günlük kür süresinde kontrol karışımı ile ÖPT kullanılan karışımlar arasındaki UPV hızlarındaki fark, kür süresi arttıkça sifıra yaklaşmıştır.
- Maruz kalınan tüm sıcaklıklardan sonra UPV hızlarında düşüş meydana gelmiştir. 400 °C sıcaklıkta UPV hızındaki yüzdece değişimin en az olduğu karışım %30,9 ile kontrol karışımı iken en yüksek olduğu karışım %38,3 ile ÖPT10 karışımı olmuştur. 600 °C sıcaklıkta tüm karışımların UPV hızlarındaki yüzdece değişimler birbirine yakın olmuştur. Bu sıcaklıkta UPV hızındaki değişim oranları %56,5.58,4 arasındadır. UPV hızındaki ilk keskin azalmanın 400 °C'de olması betonda boşluk oranının artmaya başladığı sıcaklığın bu sıcaklık değeri olduğunu göstermiştir. 800 °C sıcaklıkta numuneler parçalanmasa da beton aşırı boşluklu hale geldiği için UPV ölçümleri yapılamamıştır.
- Yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce 3 günlük kür süresinde kontrol karışımının basınç dayanımı diğer karışımlardan %13,5.20 oranları arasında daha fazla iken 28 günlük kür süresinde kontrol karışımının basınç dayanımı ÖPT kullanılan

karışımlardan %3,8 -%10,2 oranları arasında daha azdır. 28 günlük kür süresi sonunda en yüksek basınç dayanımı ise ÖPT20 karışımından elde edilmiştir.

- 200 °C sıcaklıktan sonra tüm karışımların basınç dayanımlarında artış meydana gelmiştir. 400 °C’de kontrol karışımının basınç dayanımı çok az bir oranda artarken diğer karışımların dayanımı maksimum %2 oranında azalmıştır. Basınç dayanımdaki en keskin azalma 600 °C sıcaklık değerinde olmuştur. Bu sıcaklıkta basınç dayanımlarındaki yüzdece değişim oranının en düşük olduğu değer %22,42 ile ÖPT0 karışımı olurken en yüksek olduğu değer %34,28 ile ÖPT5 karışımı olmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce ÖPT20 karışımının basınç dayanımı ÖPT0 karışımının basınç dayanımından %13,64 daha fazla iken 600 °C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra bu oran %10,54’e düşmüştür. 800 °C sıcaklıkta basınç dayanımındaki keskin düşüş devam etmiştir. Kontrol karışımı dayanımının %52’sini kaybederken ÖPT kullanılan karışımlar dayanımlarının yaklaşık olarak %60’ını kaybetmiştir. Bu sıcaklık değerinden sonra ÖPT20 karışımının basınç dayanımı ÖPT0 karışımından %5 daha az olmuştur.
- Yüksek sıcaklıktan önce kontrol karışımının basınç dayanımı ÖPT kullanılan karışımların basınç dayanımlarından belirgin bir şekilde az iken, maruz kalınan en yüksek sıcaklık değeri 800 °C’den sonra kontrol karışımının basınç dayanımı biraz daha fazla olmakla beraber tüm karışımların basınç dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- Beton numunelerin UPV hızları ile basınç dayanımları arasında yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce kurulan ilişki, yüksek sıcaklıklardan sonra kurulamamaktadır.
- 28 günlük kür süresinden sonra yapılan eğilme deneyinde ÖPT ikamesinin betonun eğilme dayanımına bir katkısı olmadığı görülmüştür.
- Çelik lifin kullanılmasına bağlı olarak maruz kalınan yüksek sıcaklıklardan sonra beton numunelerin hiçbirinde herhangi bir parçalanma meydana gelmemiştir.
- Çelik liflerin beton içerisindeki mikroskobik görüntüleri incelendiğinde çelik lif ile beton arasındaki aderansın azalmaya başladığı sıcaklık 400 °C olarak gösterilebilir. 600 °C sıcaklıktan itibaren ise çimento hamurunun bozulması ve betonda meydana gelen hacim genleşmesinin sonucu olarak çelik lif ve beton arasındaki aderans önemli ölçüde azalmıştır.

- Yüksek sıcaklığa maruz kalmadan önce 28 günlük kür süresi sonunda ÖPT kullanılan karışımların basınç dayanımı kontrol betonuna göre net bir şekilde fazla iken yüksek sıcaklık sonrası kontrol karışımının basınç dayanımı ÖPT kullanılan karışımlardan az bir oranda yüksek olmuştur. ÖPT kullanılmasına bağlı olarak yükseltelen dayanım maruz kalınan yüksek sıcaklıklar sonunda kontrol betonuna yakın seviyede olmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] **Erdoğan, T.Y.**, 2010. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- [2] **Aktürk, M.**, 2007. Polipropilen Lif Takviyeli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [3] **Felekoğlu, B., Baradan, B.**, 2004. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Performansı, THBB Beton 2004 Kongresi, İstanbul, s.234.243.
- [4] **Şahmaran, M., Yaman, İ.Ö., Tokyay, M.**, 2004. Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri İle Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, THBB Beton 2004 Kongresi, İstanbul, s.225.233.
- [5] **ASTM C 125**, 1994. Standard Terminology Relating to Concrete And Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- [6] **ASTM C 618**, 1994. Standard Specification for Coal Fly Ash and Row or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- [7] **ACI Committe 544.3R-93**, 1998. Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing and Finishing Stell Fiber Reinforced Concrete, ACI Journal.
- [8] **Gençel, O.**, 2006. Farklı Çelik Lif Tipi Ve Miktarının Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [9] **ACI Committe 201.2R-92**, 1992. Guide to Durable Concrete, ACI Journal.
- [10] **Felekoğlu, B.**, 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [11] **Gökalp, İ., Ördek, A., Özen, M., Ekim, H.**, 2011. Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, Beton 2011 Hazır Beton Kongresi & Beton, Agrega, İnşaat Teknolojileri Ve Ekipmanları Fuarı, İstanbul.

- [12] **Orhan, E.**, 2012. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Katkı Oranları Değişiminin Betonun Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [13] **Beycioğlu, A.**, 2013. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Beton İle Donatı Aderansın İlişkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [14] **Uysal, M., Yılmaz, K.**, 2011. Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Elastisite Modülüne Etkisinin İncelenmesi, 6. International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Turkey.
- [15] **Gürses, O.**, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri Ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [16] **Yanar, M.T.**, 2007. Effects Of Mineral Admixtures on the Properties of self Compacting Concretes, M.Sc. Thesis, Gaziantep University Graduate School of Natural&Applied Sciences, Gaziantep.
- [17] **Şimşek, O.**, 2007. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [18] **TS EN 934.2**, 2002. Beton, Harç ve Şerbet İçin Kimyasal Katkılar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [19] **Ath, İ.**, 2012. Farklı İri Agrega İçeriğinin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yüzey Aşınma Direncine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [20] **TS 3542**, 1984. Beton Kimyasal Katkı Maddeleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [21] **Erdoğan T.S., Erdoğan, T.Y.**, 2007. Kimyasal Katkı Maddeleri ve Tarihi Geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar, s.21.34, Ankara.
- [22] **İşsever, F.**, 2013. Birden Fazla Mineral Katkı İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harcı Dayanım Dayanıklılık ve Viskozite Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [23] **Acay, E.**, 2010. Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- [24] **Dolgun, O.**, 2010. Kendiliğinden yerleşen betonlarda öğütülmüş pomza kullanılabilirliğinin araştırılması, yüksek lisans tezi, Niğde üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Niğde.
- [25] **Öztürk, M.**, 2012. Pomza Ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [26] **Yıldırım, A.N.**, 2007. Pomza Ve Uçucu Kül Kullanılarak İmal Edilen Hafif Betonların Agresif Su Ortamlarında Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [27] **Çelikten, S.**, 2014. Çelik Fiber İçeren Yüksek Dayanımlı Beton Özellikleri Üzerinde Metakaolin Ve Öğütülmüş Pomzanın Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [28] **Kabay, N., Tüfekçi, M.M., Kızılkanaat A.B., Oktay, D.**, 2015. Properties of Concrete with Pumice Powder and Fly Ash as Cement Replacement Materials, Construction and Building Materials, 85, p.1.8.
- [29] **ACI Committee 544**, 1993. Guide for Specifying, Mixing, Placing and Finishing Steel Fibre Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, p.94.101.
- [30] **Berbergil, V.**, 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **TS 10513**, 1992. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [32] **Ateş, A. İ.**, 2008. Çelik Lif Donatılı Betonlar, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırıkkale.
- [33] **Akman, S.**, 2000. Yapı Hasarları Ve Onarım İlkeleri, İnşaat Müh. Odası İstanbul Şubesi, S.177, İstanbul
- [34] **Kocataşkın, F.**, 2000. Yapı Malzemeleri Bilimi, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [35] **Karagöz, H.**, 2013. Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Kullanılan Mineral Katkıların Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [36] **Gustaferro, A.H., Abrams, M.S., Lituin, A.**, 1971. Fire Resistance of Lightweight Insulating Concrete, Lightweight Concrete, Acı Publication, 29, p.161.180.

- [37] **Shneider, U., Weiss, R.**, 1997. Kinetic considerations on the thermal destruction of cement-bound concrete and its mechanical effects, Cement concr. Research, 7.
- [38] **Phan, L., Carino, N.J.**, 1998. Review of Mechanical Properties of HSC at Elevated Temperatures, Journals of Material in Civil Engineering, 10 ,p.58.64.
- [39] **Chen, B., Liu, J.**, 2004. Residual Strength of Hybrid-Fiber-Reinforced High Strength Concrete After Exposure to High Temperatures, Cement and Concrete Research, 34, p.1065.1069.
- [40] **Li, M., Qian, C., Sun, W.**, 2004. Mechanical Properties of High Strength Concrete After Fire, Cement and Concrete Research, 34 , 1001.1005.
- [41] **Jonotka, I., Nurnbergerova, T.**, 2005. Effect of Temperature on Structural Quality of the Cement Paste and High Strength Concrete with Silica Fume. Nuclear Engineering and Design, 235, 2019.2032.
- [42] **TS 802**, 1985. Beton Karışım Hesap Esasları, Ankara.
- [43] <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCC.PDF> EFNARC 2002, European Guidelines for Self-Compacting Concrete, 20 Mart 2013.
- [44] **Güneş, A.**, 2011. Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonların Mühendislik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [45] **TS EN 12390-7**, 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [46] **ASTM C 597**, 1994. Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of Astm Standards.
- [47] **TS EN 12390-3**, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [48] **TS EN 12390-5**, 2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [49] **Köklü, N.**, Büyüköztürk, Ş., Bökeoğlu, Ö.Ç., 2006. Sosyal Bilimler İçin İstatistik, Pegem Yayıncılık, Ankara.
- [50] **Khatib, M.,J.**, 2008. Performance of Self Compacting Concrete Containing Fly Ash, Construction And Building Materials, 22, 1963.1971.

- [51] **Şahin, M.**, 2014. Polimer Emdirilmiş Mineral Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklığa Karşı Dayanıklılığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [52] **Mahsanlar, N.**, 2006. Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [53] **Handoo, S.K., Agarwal S., Agarwal, S., K.**, 2002. Pysicocemical, Mineralogical and Morphological Characteristics of Concrete Exposed to Elaveted Temperatures, Cement and Concrete Research, 32, 1009.1018.
- [54] **Kurt, A.**, 2012. Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Mineral Katkı Çeşitlerine Göre Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [55] **Xiao, J., Falkner, H.**, 2006. On Residual Strength of High Performance Concrete With and Without Polypropylene Fibres at Elevated Temperatures, Fire Safety Journal, 41, 115.121.
- [56] **Bingöl, A.F.**, 2008. Beton-Donatı Aderansına Yüksek Sıcaklıkların Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [57] **Aydın S., Yazıcı, H., Baradan B.**, 2008. High Temperature Resistance of Normal Strength and Aoutoclaved High Strength Mortars Incorporated Polypropylene and Stell Fibres, Construction and Building Materials, 22(4), 504.512.
- [58] **Lau, A., Anson, M.**, 2006. Effect of Temperatures on High Performance Stell Fibre Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 36, 1698.1707.

ÖZGEÇMİŞ

Murat DENER, 1993 yılında Bingöl’de doğdu. İlköğretimini Muş Vali Adil Yazar, ortaöğretimini Bingöl Atatürk Lisesinde tamamladı. 2011 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2015 yılında bitirdi. 2015 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime hak kazandı. 2015 yılında Bingöl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalına araştırma görevlisi olarak atandı.

