

**ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETONLARIN ÇEŞİTLİ
LİFLER ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

METE BURAK KÖSE

TEMMUZ 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETONLARIN ÇEŞİTLİ
LİFLER ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

METE BURAK KÖSE

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

TEMMUZ 2025

DİYARBAKIR

ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETONLARIN ÇEŞİTLİ LİFLER ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mete Burak KÖSE tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Yapı Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

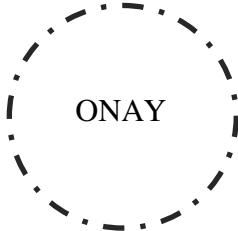
Dr. Öğr. Üyesi Senem YILMAZ ÇETİN
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Halil GÖRGÜN (*)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Senem YILMAZ ÇETİN (**)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat DOĞRUYOL
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt Üniversitesi



Savunma Tarihi: 03 / 07 / 2025

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.



Anneme...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Mete Burak KÖSE

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Senem YILMAZ ÇETİN'e çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, laboratuvar deneyleri, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdiği destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim.

Yazar, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP), bu tez çalışması için sağladıkları finansal destek için (Proje No: DÜBAP-Mühendislik.25.004) teşekkürü bir borç bilir.

En önemlisi, tez sürecimde benden desteğini esirgemeyen bana inanan ve tez savunma sınav tarihine yakın zamanda kaybettiğim anneme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON.....	14
3.1 UYPB Üretimi.....	15
3.1.1 Bağlayıcı malzeme	15
3.1.2 Agregası	15
3.1.3 Su ve su/çimento oranı	16
3.2 UYPB Karıştırma ve Yerleştirme Süreci	16
3.3 Çeşitli Liflerin UYPB’ nin Mekanik Özelliklerine Olan Etkisi.....	16
3.3.1 Çelik liflerin UYPB’ nin mekanik özelliklere etkisi	16
3.3.2 Polimer liflerin UYPB’ nin mekanik özelliklerine etkisi.....	18
3.3.3 Bazalt liflerin UYPB’ nin mekanik özelliklerine etkisi	19
3.3.4 Organik liflerin UYPB’ nin mekanik özelliklerine etkisi	20
4. MATERYAL VE METOT	22
4.1 CEM I 42.5R Portland Çimento.....	22
4.2 Silis Dumanı	24
4.3 Agregası Deneyleri	25
4.3.1 Agregası özgül ağırlık ve su emme kapasitesinin belirlenmesi.....	25

4.4 UYPB’ de Kullanılan Lifler ve Katkı Maddesi.....	27
4.4.1 Mikrofiber lif	28
4.4.2 Çelik tel lif	28
4.4.3 Bazalt lif	30
4.4.4 Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi	30
4.5 Deneyde Kullanılan Kalıp Malzemesi Özellikleri	31
4.6 UYPB Üretimi ve Lif Katkılı UYPB Üretimi (LK-UYPB)	32
4.7 Sertleşmiş Beton Dayanım Testleri	38
4.7.1 Basınç dayanımı.....	38
4.7.2 Yarmada-çekme dayanımı	39
5. BULGULAR	41
5.1 Basınç Küp Deney Sonuçları	41
5.1.1 UYPB (lif içermeyen) basınç dayanımı	41
5.1.2 Bazalt lif içeren UYPB basınç dayanımı	42
5.1.3 Mikrofiber içeren UYPB basınç dayanımı.....	43
5.1.4 Çelik tel lif içeren UYPB basınç dayanımı	45
5.2 Yarmada Çekme Deney Sonuçları	46
5.2.1 Lif içermeyen UYPB yarmada çekme dayanımları.....	46
5.2.2 Bazalt lif içeren UYPB çekme dayanımları	47
5.2.3 Mikrofiber lif içeren UYPB çekme dayanımları	48
5.2.4 Çelik tel lif içeren UYPB çekme dayanımları	49
6. SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 UYPB’de bulunan malzeme içeriği [7]	3
Şekil 2.2 Farklı tipteki özel betonlar [10]	4
Şekil 3.1 Geleneksel beton (NDB) ve UYPB karşılaştırılması [52]	14
Şekil 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan CEM I 42.5R çimento	22
Şekil 4.2 Silis dumanı	24
Şekil 4.3 Kuvars agrega	25
Şekil 4.4 Etüvde kurutulan agrega numuneleri	26
Şekil 4.5 Agrega elek deneyi	26
Şekil 4.6 Karışım da kullanılan agregaların gradasyon eğrisi	27
Şekil 4.7 Mikrofiber lif	28
Şekil 4.8 Çelik tel lif	29
Şekil 4.9 Bazalt lif	30
Şekil 4.10 Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi	31
Şekil 4.11 Deneyde kullanılan 150x150 mm’lik küp numuneler	32
Şekil 4.12 UYPB beton mikserde üretimi	35
Şekil 4.13 LK-UYPB farklı hacimsel oranlarda üretimi	36
Şekil 4.14 UYPB küp numunelere yerleşimi	36
Şekil 4.15 Deneysel çalışmada kullanılan küp numuneler	37
Şekil 4.16 Kür havuzuna bırakılan numuneler	37
Şekil 4.17 Beton basınç deney makinesi	38
Şekil 4.18 Yarmada çekme deneyi için kullanılan sıkıştırma şeridi ve çelik yükleme parçaları	39
Şekil 4.19 Yarmada çekme deneyi	40
Şekil 5.1 Lif içermeyen UYPB basınç grafiği	42
Şekil 5.2 Bazalt lif içeren UYPB basınç grafiği	43
Şekil 5.3 Mikrofiber lif içeren UYPB basınç grafiği	44
Şekil 5.4 Çelik tel lif içeren UYPB basınç grafiği	45
Şekil 5.5 Lif içermeyen UYPB çekme dayanım grafiği	46
Şekil 5.6 Bazalt lif içeren UYPB çekme dayanımı	47
Şekil 5.7 Mikrofiber lif içeren UYPB çekme dayanımı	48
Şekil 5.8 Çelik tel lif içeren UYPB çekme dayanımı	49

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 Deneyde kullanılan çimento mekanik özellikleri	23
Tablo 4.2 Deneylerde kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	23
Tablo 4.3 Silis dumanı kimyasal özellikleri	24
Tablo 4.4 Agregada su emme ve özgül ağırlık değerleri	26
Tablo 4.5 Agregada granülometrik değerler (%)	27
Tablo 4.6 Mikrofiber lif karakteristik özellikleri	28
Tablo 4.7 Çelik tel lif karakteristik özellikleri	29
Tablo 4.8 Bazalt lif karakteristik özellikleri	30
Tablo 4.9 AURACAST 535 katkı maddesi özellikleri	31
Tablo 4.10 Karışım için gerekli bazalt lif miktarı	33
Tablo 4.11 Karışım için gerekli mikrofiber lif miktarı	33
Tablo 4.12 Karışım için gerekli çelik tel lif miktarı.....	33
Tablo 4.13 Malzeme karışım oranları	34
Tablo 5.1 Lif içermeyen UYPB basınç dayanımı	41
Tablo 5.2 Bazalt lif içeren UYPB	42
Tablo 5.3 Mikrofiber lif içeren UYPB basınç dayanımı.....	44
Tablo 5.4 Çelik tel lif içeren UYPB basınç dayanımı.....	45
Tablo 5.5 Deneysel çalışmada elde edilen basınç dayanımları	46
Tablo 5.6 Lif içermeyen UYPB çekme dayanımı	46
Tablo 5.7 Bazalt lif içeren UYPB çekme dayanımı	47
Tablo 5.8 Mikrofiber lif içeren UYPB çekme dayanımı	48
Tablo 5.9 Çelik tel lif içeren UYPB çekme dayanımı	49
Tablo 5.10 Deneysel çalışmada elde edilen yarmada çekme dayanımları	50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge

Açıklama

f_c	Basınç dayanımı MPa (N/mm ²)
F	Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, (N)
A_c	Numunenin enkesit alanı (mm ²)
f_{ct}	Yarmada çekme dayanımı MPa (N/mm ²)
F	En büyük kuvvet (N)
L	Numunenin yükleme parçasına temas çizgisinin uzunluğu (mm)
d	Numunenin enkesit ölçüsü (mm)

Kısaltma

Açıklama

UYPB	Ultra Yüksek Performanslı Beton
UYPLB	Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton
PE	Poli Etilen
PVA	Polivinil Alkol
MBF	Makro Bazalt Lif
PP	Polipropilen
BF	Bazalt Fiber
UK	Uçucu Kül
YFC	Yüksek Fırın Cürufu
NDB	Geleneksel Beton
PF	Polipropilen Fiber

ÖZET

ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETONLARIN ÇEŞİTLİ LİFLER ALTINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

KÖSE, Mete Burak

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Senem YILMAZ ÇETİN

Temmuz 2025, 76 sayfa

Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB) mühendislik özelliklerinin gelişmesi ile dikkatleri üzerine çeken, yüksek mukavemet ve dayanıklılığa sahip bir beton türüdür. Bu beton türü bağlayıcı malzeme, ince agregâ ve katkı malzemeleri kullanılarak oluşturulan ve uzun ömürlü olması gereken yapılarda tercih edilmektedir. UYPB geleneksel betonlardan farklı olarak içinde özel katkıları ve lifler bulundurabilirler. UYPB içine yerleştirilen çeşitli lifler betonun mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirebilirler. Bu mekanik özellikler arasında basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, darbe direnci ve aşınma gibi özellikleri iyileştirme mevcuttur. Kullanılan lifler betonun içinde mikro çatlakların yayılmasını engelleyerek yapının daha uzun süre dayanmasını sağlar. UYPB'nin dayanımının yüksek çıkmasında etkili olan diğer faktörler arasında ince agregâlar, su/bağlayıcı malzeme oranının sahip olduğu özelliklerdir. Bu kullanılan malzemeler betonu daha yoğun hale getirerek suyun beton içinde sahip olduğu hareketi sınırlar ve dayanımı artırır. Lifler, betonun çekme dayanımını artırarak, çatlama ve kırım gibi olumsuz durumların önüne geçilmesine yardımcı olur. Liflerin, betonun iç yapısındaki mikro çatlakları engelleyerek, yapısal bütünlüğü güçlendirdiği ve dayanıklılığı arttırdığı bilinmektedir. Ultra yüksek performanslı betonda, yüksek çimento içeriği hem dayanım hem de dayanıklılığın temel belirleyicisi olup, aynı zamanda matrisin yoğunluğunu artırarak boşluk oranını azaltmakta ve böylece daha kompakt bir yapı elde edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı ultra yüksek performanslı betonların çeşitli liflerle (çelik tel lif, bazalt lif, mikrofiber lif) olan etkisi sonucunda ortaya çıkan mekanik davranışları incelemektir. Bu çalışma kapsamında UYPB'nin içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında bazalt lif, çelik tel lif ve mikrofiber lif 150x150x150 mm'lik küp numunelere eklenerek 7, 28 ve 56 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB), Çelik tel lif, Bazalt lif, Mikrofiber lif

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETES UNDER VARIOUS FIBERS

KÖSE, Mete Burak

Master of Science, Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Senem YILMAZ ÇETİN

July 2025, 76 pages

Ultra High Performance Concrete (UHPC) is a type of concrete that has attracted attention with its advanced engineering properties, boasting high strength and durability. This type of concrete is preferred for structures requiring long-lasting durability, constructed using binder materials, fine aggregates, and additives. Unlike traditional concrete, UPC can contain special additives and fibers. The various fibers incorporated into UPC can significantly improve the concrete's mechanical properties. These mechanical properties include compressive strength, flexural strength, tensile strength, impact resistance, and abrasion resistance. The fibers used prevent the spread of microcracks within the concrete, ensuring longer durability. Other factors contributing to the high strength of UPC include the fine aggregates and the properties of the water/binder ratio. These materials increase the density of the concrete, limiting water movement within the concrete and increasing its strength. The fibers increase the concrete's tensile strength, helping to prevent adverse events such as cracking and breakage. Fibers are known to strengthen structural integrity and increase durability by preventing microcracks in the internal structure of concrete. In ultra-high-performance concrete, high cement content is the primary determinant of both strength and durability. It also increases the density of the matrix, reducing the void ratio, and thus resulting in a more compact structure. The aim of this study is to investigate the mechanical behavior of ultra-high-performance concretes when combined with various fibers (steel fiber, basalt fiber, and microfiber). In this study, basalt fiber, steel fiber, and microfiber fiber were added to UHPC at 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% by volume to 150x150x150 mm cube samples. Their compressive and splitting tensile strengths were experimentally investigated at 7, 28 and 56 days.

Keywords: Ultra-High Performance Concrete (UHPC), Steel fiber, Basalt fiber, Microfiber fiber

1. GİRİŞ

Beton, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olup yapılar için temel bir yapı malzemesidir. Modern yapı tasarımlarında dayanıklılık ve uzun ömür, yapı malzemelerinden beklenen en belirgin özellik olup, bu gereksinimleri karşılamada üstün performans sergileyen betonun tercih edilmesi zaruri hale gelmiştir. Betonda dayanım arttıkça karşılaşılan önemli bir sorun gevrekliktir; yüksek dayanımlı betonlar, tepe noktasından sonra ani olarak gerilme kaybı yaşar ve gevrek kırılmalar gösterir, bu nedenle yalnızca yüksek dayanım ve durabilite değil, aynı zamanda yüksek süneklik özelliğine sahip betonlara olan ihtiyaçta zamanla artmıştır. Özellikle, kalitesiz malzeme kullanımı, yapısal tasarımdan kaynaklı hatalar, olumsuz çevresel koşullar ve son yıllarda meydana gelen doğal afetler, beton kalitesinin yapı yıkımlarındaki etkisini açıkça gözler önüne sermiştir. Depreme karşı dayanıklı yapıların inşası, artık sadece bir tercih değil, zorunluluk hâline gelmiştir. Son yıllarda, betonun performansını artırmaya yönelik çeşitli iyileştirme çalışmaları yapılmakta olup, bu gelişmelerin başında Ultra Yüksek Performanslı Betonlar (UYPB) gelmektedir. UYPB, geleneksel betonlardan çok daha üstün özelliklere sahip olup; yüksek dayanım, düşük porozite, uzun ömür ve dayanıklılık gibi avantajlar sunar. Bu durum, yüksek dayanım ve uzun ömür sunan Ultra Yüksek Performanslı Betonların (UYPB) yapı sektöründe önemini her geçen gün giderek artırmaktadır. Sağlamış olduğu bu üstün özellikler, betonun üretiminde kullanılan özel katkı maddeleri ve ileri teknolojiye dayanmaktadır. Mühendisliğin farklı alanlarında kullanılan UYPB; köprü, tünel ve yüksek katlı binalarda güvenli çözümlerden ötürü tercih edilir.

UYPB; çimento, tamamlayıcı (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu) malzemeler, agrega, su, süperakışkanlaştırıcı katkılar ve takviyelerden elde edilerek üretilir. Ultra yüksek performanslı betonların elde edilebilmesi için içeriklerinde çeşitli takviye kullanılmaktadır. Betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan bu takviye elemanlarından biri de liflerdir. Lifler, betonun çekme dayanımını artırarak, çatlama ve kırım gibi olumsuz durumların önüne geçilmesine yardımcı görev görür. Liflerin, betonun iç yapısındaki mikro çatlakları engelleyerek, yapısal bütünlüğü güçlendirdiği ve dayanıklılığı arttırdığı bilinmektedir. Ultra yüksek performanslı betonda, içeriğindeki yüksek çimento hem dayanım hem de

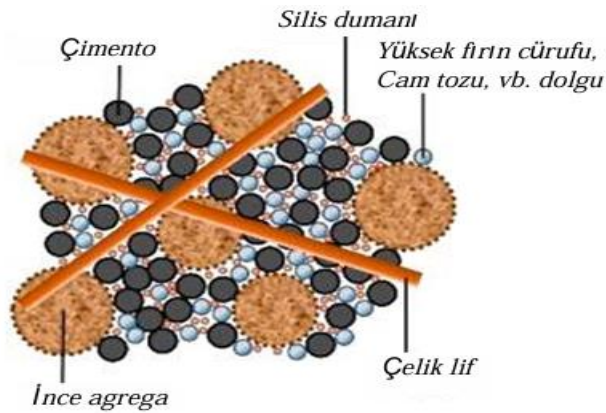
dayanıklılığın ana belirleyicisi olup, aynı zamanda matrisin-özgül ağırlığını artırarak boşluk oranını azaltmakta ve böylece daha kompakt bir yapı elde edilmesini sağlamaktadır. Karışımda kullanılan süperakışkanlaştırıcılar sayesinde su miktarı azaltılarak işlenebilirlik artırılmakta ve boşluk oranı düşürülmektedir. Katkı maddeleri ve liflerin optimum kombinasyonu, betonun hem dayanımını hem de sünekliğini eşzamanlı olarak geliştirmesine yardımcı olabilir.

Bu çalışmanın amacı ultra yüksek performanslı betonların çeşitli liflerle (çelik tel lif, bazalt lif, mikrofiber lif) olan etkisi sonucunda ortaya çıkan mekanik davranışları incelemektir. Bu çalışma kapsamında UYPB'nin içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında bazalt lif, çelik tel lif ve mikrofiber lif 150x150x150 mm'lik küp numunelere eklenerek 7,28 ve 56 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

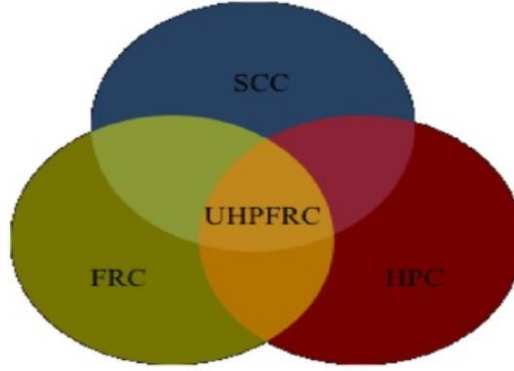
Ultra yüksek performanslı beton (UYPB), geleneksel betonlara göre çok daha üstün mekanik özellik gösteren bir beton türüdür. Beton yapılarda mekanik, termal ve kimyasal gerilmelerden kaynaklanan çatlamlar; donatı korozyonu, alkali-silika reaksiyonu, sülfat saldırısı ve donma-çözülme gibi dayanıklılık sorunlarına sebep olur. Bu etken, yapıların ömrünü azaltırken bakım maliyetlerini ise artırır. Geleneksel beton bu tür zorlu çevre koşullarına karşı gerekli dayanımı sağlamadığından, yüksek dayanıklılık ve uzun ömür sunan yüksek performanslı beton (YPB) ve ultra yüksek performanslı beton (UYPB) geliştirilmesi büyük önem taşır [1]. UYPB, özel katkı maddeleri ve ileri mühendislik teknikleri ile üretilmekte olup yüksek dayanım, düşük porozite, uzun ömür ve yüksek aşınma direnci gibi özelliklere sahiptir [2]. UYPB içeriğinde bulunan karışımlar itibari ile çimento, ince agrega, akışkanlaştırıcı katkı ve silis dumanından meydana gelmektedir [3]

UYPB’de yüksek mekanik özellik elde etmek için içeriğinde bulunan su/çimento oranının düşük miktarda olması gerektiğinden çimento miktarı geleneksel betonlara göre oldukça fazladır [4]. Ancak su/çimento oranının az olması betonda işlenebilirliği azaltan bir etkendir. Bundan dolayı betonun işlenebilirliğini artırmak için süperakışkanlaştırıcı katkıları kullanılır [5]. Bu katkı maddeleri betonun iç yapısındaki çimentoda bulunan boşlukları doldurmaktadır. Bunun yanında bu katkı malzemeleri içermiş olduğu puzolanik özellikler sebebiyle bağlayıcılık özellik kazanmakta ve betonun mekanik özelliklerini artırma özelliğine sahiptir [6]. Park vd. [7], UYPB’de bulunan malzeme içeriğini Şekil 2.1’de şöyle tanımlamıştır.



Şekil 2.1 UYPB’de bulunan malzeme içeriği [7]

UYPB yalnız başına kullanıldığında gevrek bir davranışa neden olduğundan içeriğindeki karışıma uygun oranda çelik lif ve sentetik lifler eklenir [8]. Bunlar tokluk kapasitesinde artış yapmaktadır. Bu beton türü, özellikle zorlu çevre koşullarında ve yüksek performans gerektiren yapısal uygulamalarda tercih edilir. Çelik, cam, polimer gibi farklı türlerde lifler, her biri betonun mekanik özelliklerini farklı şekilde iyileştiren malzemelerdir. UYPB karışım tasarımları, üç farklı özel beton tipinin temel özelliklerini bir araya getirir. Bunlar; kendiliğinden yerleşen betonun akıcılığı, yüksek performanslı betonun yüksek dayanımı ve elyaf takviyeli betonun sünekliği belirtilebilir. Bu birleşim, kendiliğinden yerleşen, ultra yüksek dayanımlı ve elyaf takviyeli bir beton olan UYPB'nin oluşmasını sağlar [9]. Perry [10] çalışmasında farklı tipteki özel betonlar hakkındaki çalışması Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Farklı tipteki özel betonlar [10]

UYPB, 1990'larda Fransa'da geliştirilen, yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip bir beton türüdür. Bazı araştırmacılar, iri agregaya içermemesi nedeniyle UYPB'yi geleneksel beton olarak görmez. Bu yüzden kimi çalışmalar "harç beton", kimileri ise "reaktif toz beton" terimini tercih etmiştir [11, 12]. UYPB ilk kez 1997'de Kanada'da yapılan bir yaya köprüsünde, 2002'de Güney Kore'deki Seonyu Köprüsü'nde, ve 2003'te Japonya'daki Sakata Mirai Köprüsü'nde uygulandı. Ayrıca Seonyu köprüsü, UYPB ile yapılan en uzun açıklıklı köprü olarak bilinmektedir [13].

UYPB üzerine ilk çalışmalar, P. Richard ve M. Cheyrezy [5] tarafından yapılmıştır. Silis dumanı, süperakışkanlaştırıcı, ince agregaya ve çelik liflerle üretilen betonlara ısıtma işlemi uygulanarak 150–800 MPa basınç dayanımına ulaşılmıştır. Çelik lifler

sünekliği artırırken, üretim sırasında uygulanan basınç ile de yoğunluk ve dayanım da yükselmiştir.

Wu ve ark. [14] yaptıkları çalışmada farklı hacimsel oranlarda (%0–%3) ve tiplerde (düz, oluklu, kancalı uç) çelik liflerin UYPB'nin akışkanlık, basınç dayanımı ve eğilme davranışı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Lif içeriği arttıkça akışkanlık azalmış, ancak basınç ve eğilme dayanımı artmıştır. Çalışmada, %3 düz lif kullanımının 28 günlük basınç dayanımı 150 MPa ve eğilme dayanımı 35 MPa civalarında elde edilmiştir. Kancalı uçlu ve oluklu lifler, basınç dayanımını düz liflere göre %48–59 oranında daha fazla artırdığını gözlemlemiştir. Lifler, eğilme eğrisinde ilk çatlak davranışını sınırlı etkilerken, tepe değer üzerinde belirgin etkiler göstermiştir. Ayrıca, belirtilen model deneysel verilerle yüksek uyum olduğunu gözlemlemiştir.

Kang ve ark. [15] yaptıkları deneysel çalışmada, 0.2 mm düz çelik lif ile PE, PVA, bazalt gibi mikroliflerin hibrit kullanımıyla UYPB'nin mekanik özellikleri incelemişlerdir. Dört farklı lifli UYPB karışımı üzerinde yapılan deneylerde; basınç dayanımı, yoğunluk ve çekme davranışı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, PE gibi yüksek dayanımlı sentetik liflerin çelik liflerle birlikte kullanımının UYPB'nin çekme dayanımını artırdığını, bazalt lifin ise çekme dayanımını geliştirdiğini gözlemlemiştir.

Hoangh ve Fehling [16] ile Kang ve ark. [15], farklı boy/en oranlarına sahip %1.5 ve %3 çelik lif içeriğinin ultra yüksek performanslı betonun tek eksenli çekme ve basınç davranışları üzerindeki etkisini ayrı ayrı incelemişlerdir. 150 mm × 300 mm boyutlarında beton silindirler üzerinde basınç testleri ve 40 mm × 40 mm × 80 mm boyutlarında çentikli prizmalarda doğrudan çekme dayanım testleri gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçları, çelik liflerin eklenmesinin basınç dayanımı ve elastisite modülünde belirgin bir değişiklik yaratmadığını; ancak, basınç altındaki tepe sonrası davranışın lif içeriği ve boy/en oranından önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Çekme altındaki çentikli prizmalarda, çelik liflerin doğrusal elastik aşamada etkisi bulunmazken, lif içeriğindeki artış hem liflerin aktif hale geldiği aşamayı önemli ölçüde belirginleyip etkilemiş hem de daha yüksek lif verimliliği sağlamıştır. Ayrıca, basınç testlerinden elde edilen tepe gerilme sırasındaki şekil değiştirme miktarı ve elastik modül, önceki formüllerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Gao ve ark. [17] çalışmalarında çelik elyafın 20 °C–1000 °C arası sıcaklıklarda UYPB'nin basınç dayanımı ve mikroyapısı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, işlenebilirlik etkisi açısından %6 çelik elyafın kritik olduğunu göstermiştir. Elyaf, yüksek sıcaklıkta hasar görünümü ve kütle kaybını önemli ölçüde etkilemiştir ve 200 °C'de basınç dayanımı zirveye ulaşmış, 600 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda ise %3 elyaf içeriğiyle dayanım %26 oranında artmıştır. Ancak 600 °C üzerindeki sıcaklıklarda elyafın oksidasyonu (kimyasal etkisi) nedeniyle dayanım azalmıştır. Elde edilen verilere göre hem ortam sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda UYPB'nin basınç dayanımını tahmin eden modeller geliştirilmiştir.

Abbas ve ark. [18], çalışmalarında farklı uzunluk (8, 12, 16 mm) ve hacimsel oranlarda (%1, %3, %6) çelik lif içeren UYPB karışımlarının mekanik ve dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir. Basınç, çekme ve eğilme dayanımı test edilmiş; %3.5 ve %10 klorür çözeltilerine karşı dayanıklılığı değerlendirmişlerdir. Lif dozajı arttıkça mekanik dayanım artmış, kısa lifler ise eğilme performansını daha fazla iyileştirmiştir. Yüksek lif dozajları, dayanıklılığı da artırmıştır. Klorür etkisine rağmen UYPB'nin mekanik özelliklerinde bozulma gözlenmemiş olduğunu belirtmişlerdir.

Li ve ark. [19], çalışmalarında iri bazalt agregası (maksimum 16 mm) içeren UYPB'leri, parçacık paketleme teorisi ve optimum toz oranı dikkate alınarak tasarlamışlardır. Akışkanlık, büzülme, macun dayanımı ile basınç ve çekme dayanımını incelemiştir. Sonuçlara göre, optimum toz oranı %5 mikrosilika ve %20 kireçtaşı tozudur. 8 mm ve 16 mm agregası için sırasıyla 800 kg/m³ ve 700 kg/m³ toz içeriği önerilmiştir.

Alsalmán ve ark. [20], yaptıkları çalışmada kum gradasyonunun, bağlayıcı türü ve içeriğinin ile kürlenme rejimlerinin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. %5 silis dumanı içeriği ve ısı kürlenmesi uygulanmadan 90 gün sonunda 155 MPa dayanım elde edildiği gösterilmiştir. Ayrıca, 60 °C'de 2 gün ve ardından 90 °C'de 3 gün süren kürlenme rejiminin en yüksek dayanımı sağladığı belirtilmiştir.

Zhang ve ark. [21] ise lif tipi ve hibrit modlarının iri agregalı UYPB'nin eğilme tokluğu ve kırılma davranışına etkisini incelemişlerdir. İri agregası, basınç dayanımı ve elastisite modülünü artırsa da, çelik lifin bağlanma performansını olumsuz etkilediğini gözlemlemişlerdir. Lif tipi ve hibritleşme, ilk çatlama dayanımı üzerinde sınırlı etki

gösterirken, nihai eğilme dayanımını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişler ve ayrıca kancalı uçla birlikte liflerin birlikte kullanımı, eğilme performansını artırdığını vurgulanmıştır.

Wang ve Gao [22] yaptıkları çalışmada, çelik tel lif oranının (%0–%3) UYPB' nin taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Farklı su-bağlayıcı oranları (0.18–0.24) ve süperakışkanlaştırıcı dozları ile hazırlanan karışımlarda; artan lif içeriği akışkanlığı ve hapsolmuş hava miktarını azaltmış, buna karşılık basınç ve eğilme dayanımlarını artırmıştır. Basınç dayanımı ile hapsolmuş hava miktarı arasında ters orantılı, doğrusal bir ilişkiyi gözlemlemişlerdir.

Ayub ve ark. [23] yaptıkları çalışmada, üç farklı yüksek performanslı beton karışımına %1, %2 ve %3 oranlarında bazalt lif eklenmesinin etkisini incelemişlerdir. İlk karışım sadece çimento içerirken, diğer iki karışımda çimentonun %10'u sırasıyla silika dumanı ve yerel metakaolin ile değiştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, özellikle %2 lif oranına kadar bazalt lifi eklenmesi, mineral katkılarla birlikte basınç dayanımını artırmıştır. Tüm lif oranlarında basınç ve ayrılma çekme dayanımlarında iyileşme görülmüş, ancak liflerin elastik modül üzerinde anlamlı bir etkisi gözlemlenmemiştir.

Chen ve ark. [24], çalışmalarında Makro bazalt lifli (MBF)'nin UYPB' nin çekme davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla lif dağılımı, yoğunluk, basınç ve çekme dayanımı testleri için MBF içeren dokuz farklı UYPB karışımı ile çelik ve polipropilen (PP) lifli iki UYPB karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, MBF'li UYPB 'nin daha homojen lif dağılımı sağladığını göstermiştir. %3 bükülmüş UYPB içeren karışım, 138.9 MPa basınç dayanımı, 8.14 MPa çekme dayanımı ile en yüksek değerlere ulaşmıştır.

Xue ve ark [25], yaptıkları çalışmada bazalt elyaf takviyeli kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı betonun (C50) mekanik özellikleri ve çatlak direncini incelemişlerdir. En uygun karışım; 0.3 su/bağlayıcı oranı, %0.2 lif hacmi, 12 mm lif uzunluğu ve %30 uçucu kül ile elde edilmiştir. Lif hacmi arttıkça çekme ve eğilme dayanımları iyileşmiş, çatlak alanı azalmıştır. %0.3 lif hacmi ve 12 mm uzunlukla en iyi çatlak direnci sağlanmıştır. Bu betonun, yüksek dayanım ve çatlak kontrolü sayesinde çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Wang çalışmasında [26] , bazalt fiber (BF), polipropilen fiber (PF) ve bunların hibrit kullanımıyla takviye edilen yüksek performanslı betonun mekanik özelliklerini incelemiştir. Farklı lif içeriklerinin basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımı ile gerilme-şekil değiştirme davranışına etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, tek başına kullanılan BF veya PF, lif hacmi arttıkça özellikle eğilme ve çekme dayanımında önemli iyileşme sağlamıştır. Hibrit lif kullanımında ise sinerjik etkiler gözlemlenmiştir. En iyi performans, %0.15 BF ve %0.033 PF içeriğinde elde edilmiş; bu karışım, lifsiz UYPB'ye kıyasla basınç, eğilme ve çekme dayanımını sırasıyla %14.1, %22.8 ve %48.6 oranında artırmıştır.

Qian vd. [27] ise araştırmalarında iri agrega içeren ultra yüksek performanslı betonun yüksek sıcaklık sonrası mekanik özelliklerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre 400 °C'ye kadar basınç dayanımı artarken, 800 °C'de çekme dayanımı azalmış ve su emme katsayısı %100'den fazla artmıştır. Polipropilen lifleri, UYPB'nin sıcaklık özelliklerini en iyi şekilde korumuş ve kürlemede özellikle su ortamında %50'den fazla kuvvet geri kazanımı sağlamıştır. İyileşme, fiziksel ve kimyasal reaksiyonların birleşimi ile gerçekleşmiştir.

Ríos vd. [28], polipropilen (PP) lif katkısının ısıya maruz kalmış ultra yüksek performanslı lifli beton (UYPLB) özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Aynı çimento esaslı üç farklı karışım (yalın beton, yalnızca çelik lifli, çelik ve PP lifli beton) kullanılmıştır. Çalışmada, farklı sıcaklıklarda mekanik ve kırılma özellikleri değerlendirilmiş; X-ışını taraması ile mikro yapı analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre PP liflerin kısmen erimesiyle oluşan gözenekler sayesinde termal hasar azalmış, yüksek sıcaklıkta da benzer mekanik davranış sağlanmıştır.

Kamani ve ark. [29] yaptığı çalışmada çelik liflerin ultra yüksek performanslı betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Betonun çekme, bükülme ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek için çelik liflerin beton karışımına eklenmesinin avantajları incelemiştir. Çalışma kapsamında farklı oranlarda çelik lif (0%, 0.5%, 1%, 1.5% ve 2%) beton karışımına eklenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çelik liflerin eklenmesi, betonun çekme dayanımını, bükülme dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. Çelik liflerin düşük oranlarda eklenmesi betonun basınç dayanımını olumsuz etkilemezken, daha yüksek oranlar uygulandığında basınç dayanımında azalmalara neden olmuştur. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlardan çelik liflerin beton

karışımlarında belirli bir oranla kullanılmasının, betonun genel performansını iyileştirebileceğini ortaya koymuştur. Ancak, çelik lif oranının artırılması belirli bir değerden sonra betonun basınç dayanımını olumsuz etkileyebileceği için, uygun oranların dikkatlice seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

X. Luo ve ark. [30] yaptıkları çalışmalarında UYPB içindeki mekanik özelliklere olan etkilerini, özellikle betonun çatlama davranışı, çekme dayanımı, bükülme dayanımı ve darbe direnci gibi özellikler üzerine olan katkılarını incelemişlerdir. Ayrıca Çelik liflerin beton karışım oranlarına nasıl entegre edildiğini ve bu liflerin betonun mekanik özelliklerini ne ölçüde iyileştirdiğini açıklamaktadır. Çalışmada, çelik lifler beton karışımına belirli oranlarda eklenmiştir. Farklı çelik lif oranları (%0,5, %1, %1,5 ve %2) beton karışımlarına eklenmiştir. Betonun mekanik özellikleri, çekme dayanımı, basınç dayanımı, bükülme dayanımı, çatlama dayanımı ve darbe direnci gibi performans kriterlerine göre test edilmiştir. Ayrıca, çelik liflerin beton içindeki davranışları, mikro-mekanik analizler ve gelişmiş simülasyon teknikleri kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar, çelik liflerin UYPB'nin çekme ve eğilme dayanımını, darbe direncini ve mikroyapısal bütünlüğünü önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bunun yanında, çelik liflerin betonun aşınma direncini de iyileştirerek genel dayanıklılık ve uzun ömür açısından olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Ancak, lif oranının dikkatli seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır; zira aşırı lif içeriği, betonun basınç dayanımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Dawood ve Hamad [31] çalışmalarında cam lifin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışma, cam lifin betonun dayanıklılığını ve mekanik performans özelliklerini ne ölçüde iyileştirdiği araştırılmıştır. Cam lifin, betona eklenmesiyle betonun çekme dayanımı, bükülme dayanımı, sıkıştırma dayanımı ve genel kırılma davranışlarında iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bu, cam lifin betonun daha sağlam ve kırılmaya karşı dirençli hale gelmesini sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, beton karışımına eklenen cam elyaflarının miktarının, betonun mekanik özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, belirli bir oranın üzerine çıkıldığında cam elyaflarının beton performansını artırmada olumlu biçimde artırmaya devam ettiğini, ancak fazla miktarda eklemenin bu iyileşmeleri sınırlayabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışma cam elyaflarının betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için etkili bir

takviye malzemesi olduğunu vurgulamaktadır. Cam elyafları, betonun dayanıklılığını artırarak, daha güvenli ve uzun ömürlü inşaat yapıları oluşturmak için önemli bir katkı sağlamaktadır.

Hannawi vd. [32] yaptıkları çalışmada ultra yüksek performanslı fiber takviyeli betonların mikro yapısını ve mekanik davranışını incelemişlerdir. Özellikle farklı fiber türlerinin betonun özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, çelik, cam ve polimer liflerin UYPB'nin dayanıklılığı, sertliği ve çekme mukavemeti üzerindeki etkileri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, fiberlerin betonun mikroyapısal özelliklerini geliştirerek, özellikle çekme ve eğilme dayanımını artırdığını göstermiştir. Çelik fiberler, genellikle en yüksek performans sergileyerek, betonun çekme ve eğilme mukavemetini gözle görülür ölçüde artırmıştır. Cam ve polimer fiberlerin ise belirli şartlarda benzer iyileştirmeler sağladığı, ancak çelik fiberlere göre daha düşük performans gösterdiği bulunmuştur. Bu bulgular, UYPB'nin kullanımını dizayn etmek için fiber seçiminin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, fiberlerin betona eklenmesiyle, malzemenin dayanıklılığı ve mekanik özelliklerinin önemli ölçüde iyileştirilebileceği ortaya konmuştur. Sonuç olarak, fiber takviyeli betonların, özellikle yüksek performans gereksinimlerine sahip yapı uygulamalarında daha verimli bir şekilde kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Chen vd. [33] yaptıkları çalışmada UYPB içeren kısa polivinil alkol (PVA) liflerinin elektriksel ve mikro yapısal özelliklerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu araştırma, PVA liflerinin UYPB'nin fiziksel ve elektriksel performansına nasıl etki ettiğini anlamayı amaçlamaktadır. Yapılan çalışma, PVA liflerinin UYPB'nin hem mekanik hem de elektriksel özelliklerine faydalı etkiler sağladığını göstermektedir. PVA lifleri, betonun çatlama direncini artırarak dayanıklılığını iyileştirirken, bunun yanında betonun elektriksel iletkenliğini de düzenleyebilir. Bu, özellikle betonun yapısal sağlık izleme sistemlerinde kullanılacaksa önemli bir özellik olduğu görülebilir. Bu, inşaat mühendisliği ve malzeme bilimi açısından betonun daha dayanıklı ve işlevsel hale getirilmesi adına önemli bir bulgudur. Özellikle yapıların izlenmesi ve bakım süreçlerinde, bu tür betonların kullanılabilirliğini artırmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, PVA liflerinin ultra yüksek performanslı betonun özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve betonun mekanik ve elektriksel performansını artırmada etkili bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Yu ve ark. [34] yaptıkları çalışmada polietilen (PE) liflerinin UYPB'nin mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını nasıl iyileştirebileceğini araştırmışlardır. PE liflerinin UYPB'ye eklenmesi, betonun çekme dayanımını, eğilme dayanımını ve çatlama direncini artırmıştır. Ayrıca, PE lifleri, betonun dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü iyileştirerek, özellikle olumsuz çevresel koşullarda daha sağlam yapıların inşa edilmesine olanak sağlamaktadır. PE liflerinin katkısı, betonun fiziksel özelliklerinin yanı sıra, mikro yapısal düzeyde de iyileşmeler sağlanmıştır. Bu çalışma, polietilen liflerinin UYPB'nin mekanik ve mikro yapısal özelliklerini iyileştirmedeki etkinliğini göstermektedir. PE lifleri, özellikle betonun çekme dayanımını artırarak ve çatlama eğilimini azaltarak, uzun ömürlü ve dayanıklı yapılar inşa edilmesini sağlamıştır.

Yazıcı [35] çalışmasında UYPB'nin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için çelik liflerin eklenmesinin etkilerini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Araştırma, farklı çelik lif oranlarının (yaklaşık %0,5 ile %2 arasında) UYPB'nin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Beton karışımına çelik lif eklenmeden lifsiz olarak önce basınç dayanımı, çekme dayanımı, darbe dayanımı ve bükülme dayanımı testleri yapılmıştır. Araştırma, çelik liflerin UYPB'yi daha dayanıklı ve esnek hale getirebileceğini ortaya koymuştur. Liflerin UYPB ile birleşmesi, mikro çatlakların büyümesini engeller ve bu da daha dayanıklı bir yapı oluşturur. Çelik liflerin eklenmesi, özellikle yapıların darbe veya bükülme gibi dinamik yükler altında daha iyi performans göstermelerini sağlar. Çelik liflerin doğru oranda eklenmesi, özellikle çekme dayanımını artırmak ve çatlama riskini azaltmak için oldukça etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Chen ve Liu [36] yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı ve iyi işlenebilirliğe sahip hafif betonun özelliklerine hibrit liflerin katkısını incelemiştir. Özellikle yapısal uygulamalarda kullanılan hafif betonun performansını artırmak amacıyla farklı lif türlerinin kombinasyonunun etkilerini araştırmaktadır. Çalışmada, farklı türde lifler (örneğin, çelik lifler, polipropilen lifler, cam lifler) kullanılarak hibrit lif takviyeli beton karışımları hazırlanmıştır. Bu liflerin farklı kombinasyonları, betonun mekanik özellikleri ve işlenebilirliği üzerindeki etkilerini belirlemek için test edilmiştir. Hibrit liflerin kullanımı, betonun basınç ve eğilme dayanımını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle çelik liflerin polipropilen liflerle kombinasyonu, betonun çatlak direncini ve tokluğunu artırmada etkili olmuştur. Hibrit liflerin beton karışımına eklenmesi,

betonun işlenebilirliğini olumsuz etkilememiştir. Aksine, liflerin doğru oranlarda kullanımı, betonun akıcılığını ve homojenliğini korumuştur. Sonuç olarak hibrit liflerin yüksek dayanımlı hafif betonun mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Ayrıca, bu liflerin betonun işlenebilirliğini olumsuz etkilemediği, hatta bazı durumlarda iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Bu bulgulardan çıkan sonuçlar, hibrit liftakviyeli betonun, özellikle yapısal uygulamalarda, geleneksel betonlara kıyasla daha üstün performans sergileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Medina vd. [37] yaptıkları çalışmada çevre dostu ultra yüksek performanslı beton ile yerel olarak temin edilebilen maliyeti düşük sentetik liflerin eklenmesinin betonun eğilme davranışı üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Çalışmanın ana noktası, çevresel etkilerin azaltılması amacıyla düşük maliyetli, yerel olarak temin edilebilen sentetik liflerin kullanımıyla üretilen UYPB'nin mekanik özelliklerini iyileştirmektir. Çalışma kapsamında sentetik liflerin eklenmesi, UYPB'nin eğilme dayanımını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Liflerin betona dahil edilmesi, betonun çatlamaya karşı daha dirençli hale gelmesini ve yük taşıma kapasitesinin artmasını sağlamıştır. Bunun yanında sentetik liflerin etkisi, betonun çatlama direncini artırırken, aynı zamanda dayanıklılığı ve sertliği de iyileştirmiştir. Lifler, betonun kırılma anında daha fazla enerji emmesini sağlamak ve böylece yapısal güvenliği artırmaktadır. Sonuç olarak, düşük maliyetli ve yerel olarak temin edilebilen sentetik liflerin kullanımı, sadece maliyetleri düşürmekle kalmayıp çevresel etkilerin azaltılmasına da katkı sağlamaktadır.

Mostofinejad vd. [38] çalışmalarında UYPB kompozitlerinde PVA ve PP liflerinin hibrit kullanımı ile betonun dayanıklılığını ve gerilme sertleşme davranışını iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda betonun kırılma, çatlama ve deformasyon davranışları incelenmiştir. PVA ve PP liflerinin hibrit kullanımının, betonun dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Lifler, betonun çatlak oluşumunu engelleyerek, çatlama sonrası devamlılık ve dayanıklılık sağladığı ve Liflerin etkisiyle betonun çekme, basınç ve eğilme dayanımında önemli artışlar gözlemlendiği görülmüştür.

Yalçinkaya ve Yazıcı [39] yaptıkları çalışmada %2 oranında katkısız UYPB'ye çelik lif eklemiştir. Ayrıca çimento yerine %50 oranında Yüksek Fırın Cürufu (YFC) ve %30 oranında Uçucu Külün (UK) yer değiştirildiği üç karışım için standart basınç

dayanımında bir farklılık olmamasına rağmen otoklav kürü sonucunda dayanımların azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın 150 MPa'lık istenen basınç dayanımına ulaşmışlardır.

Arel [40] deneysel çalışmasında UYPB'de kullanılan lif boyutunun artmasının hem erken hem de geç yaşlardaki beton basınç dayanımını artırdığını gözlemlemiştir. Bunun yanında 56 ve 90 günlük basınç dayanımlarının ise yakın değerlerde olduğunu saptamıştır.

Smarzewski [41] ise yaptığı deneysel çalışmada çelik lif tiplerinin (düz, kancalı) kullanımının sentetik life kıyasla daha iyi performans gösterdiğini gözlemlemiştir.

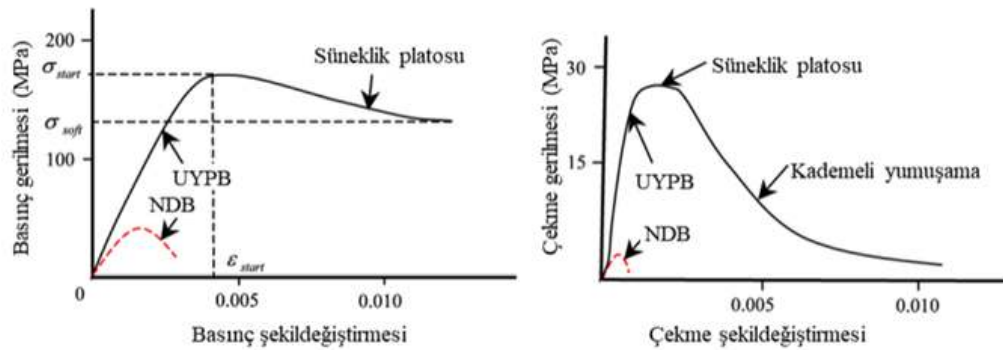


3. ULTRA YÜKSEK PERFORMANSLI BETON

Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB), düşük su/çimento oranına sahip, süperakışkanlaştırıcılarla işlenebilirliği artırılmış ve puzolanik katkılarla mekanik özellikleri geliştirilmiş, yüksek dayanım ve dayanıklılık sunan özel bir beton türüdür [42]. Gevrek yapıyı azaltıp tokluk kapasitesini artırmak amacıyla eklenen çelik ve sentetik lifler, çatlama ve deformasyon davranışlarını iyileştirerek betonun genel performansını artırır [6]. Uygun kür koşulları, lif oranı ve bağlayıcı içeriğiyle 120 MPa'nın üzerinde, hatta 150 MPa'ya kadar çıkabilen basınç dayanımları elde edilebilmektedir [42, 43]. Yüksek basınç mukavemeti ve şekildeğiştirme kapasitesi sayesinde, UYPB özellikle narin elemanlar ve estetik yapılar için uygundur. Bu özellikleri nedeniyle endüstriyel zemin döşemeleri ve prefabrik yapı elemanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [44, 45].

Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB)'da ise tek tip yerine farklı tür ve oranlarda lifler tercih edilmektedir [42, 46, 47]. Kısa lifler mikro çatlakların yayılmasını sınırlarken, kancalı lifler çatlakları köprüleyerek deformasyon kapasitesini artırır [48, 49].

Son çalışmalar, UYPB'de kullanılan yüksek çimento miktarının çevresel etkilerini azaltmak amacıyla cam tozu, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi katkıların etkilerini incelemiştir [50, 51]. Wu ve arkadaşlarının çalışmasında, UYPB'nin geleneksel betona göre daha yüksek dayanım ve gelişmiş rijitlik sunduğu görülmekle birlikte Şekil 3.1'de görülmüştür. [52].



Şekil 3.1 Geleneksel beton (NDB) ve UYPB karşılaştırılması [52]

3.1 UYPB Üretimi

UYPB'nin ana bileşenleri çimento, silika dumanı, alüminyum tetrahidroksit, ince agrega, su ve kimyasal katkılardır. Bu bileşenlerin sahip olduğu başlıca özellikler şunlardır:

- UYPB'nin dayanımını artırmak için özel çimento türleri (CEM I-42.5R veya 52.5R) tercih edilebilir.
- Silika dumanı; betonun mikro yapısını iyileştirir ve poroziteyi azaltarak dayanımını artırır. Ayrıca, erken dönemde hidratasyon reaksiyonunu hızlandırır.
- Alüminyum tetrahidroksit; Betonun sertleşmesini hızlandıran katkı olarak bilinmektedir.
- UYPB' de geleneksel betondan farklı olarak, oldukça ince agrega kullanır. Bu agrega, betonun homojenliğini artırarak mikro yapıyı güçlendirir.
- Beton karışımının özelliklerini belirleyen önemli bir parametredir. UYPB üretiminde, su/çimento oranı çok düşüktür, bu da betonun yoğunluğunu ve dayanımını artırır.
- Betonun işlenebilirliğini artırmak ve dayanımını geliştirmek amacıyla çeşitli kimyasal katkılar (plastikleştirici, süperplastikleştirici vb.) kullanılabilir [53]

3.1.1 Bağlayıcı malzeme

UYPB karışımında genellikle Portland çimentosu ve silika dumanı kullanılır. Silika dumanı, betona mikroyapısal olarak etki eder ve betonun dayanımını artırır. Bu malzemenin, çimento ile birlikte kullanımı betonun dayanımını ve dayanıklılığını önemli ölçüde iyileştirir. Genelde kullanılan çimento oranı %60-%70 seviyelerinde iken silika dumanı oranı ise %10-%20 arasındadır [54].

3.1.2 Agrega

UYPB'nin dayanıklılığı, agregaların kalitesine büyük ölçüde bağlıdır. Betonun ince ve kaba agregalarının seçimi, karışımın mukavemetini ve işlenebilirliğini etkiler. İnce agregalar (kum), daha düzgün yüzeylere sahip olmalıdır ve kaba agregalar (çakıl veya kırma taş) da uygun şekilde seçilmelidir. Uygun agrega oranları, betonda yüksek mukavemet sağlamak için kritik öneme sahiptir. Genellikle ince agrega oranı %20-

%30 oranlarında iken kaba agrega oranı ise %30-%40 bandındadır. UYPB de ise genel olarak ince agrega kullanılır [54].

3.1.3 Su ve su/çimento oranı

UYPB'nin önemli özelliklerinden biri, su/çimento oranının çok düşük olmasıdır. Bu oran genellikle 0,2 ile 0,3 arasında tutulur. Düşük su/çimento oranı, betonun dayanımını artırır çünkü daha fazla bağlayıcı malzeme su ile reaksiyona girer böylece beton daha yoğun ve mukavemeti yüksek hale gelir gelir. Tezde yapılan deneysel çalışmada su/çimento oranı 0,19 olarak belirlenmiştir [55].

3.2 UYPB Karıştırma ve Yerleştirme Süreci

UYPB betonlarında karıştırma işlemi uzun süre alabilir ve genellikle yüksek hızlı beton karıştırıcıları kullanılır. Bu, malzemelerin homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Ayrıca, karışımdaki su miktarının minimumda tutulması ve doğru katkı maddelerinin kullanılması dayanımı artırması açısından oldukça önemlidir. Betonun numunelere yerleştirme sırasında, UYPB'nin yüksek viskozitesi nedeniyle, düzgün bir yerleşim sağlama amacıyla vibratörler kullanılır. Bu vibratör titreşimi betonun birbirine daha iyi kenetlenmesini sağlar ve içindeki hava boşluklarının giderilmesine sebep olur. Bu yapılan işlemler, betonun dayanımını ve uzun ömürlülüğünü doğrudan etkiler [55].

3.3 Çeşitli Liflerin UYPB' nin Mekanik Özelliklerine Olan Etkisi

Betonun mekanik özelliklerini iyileştiren lifler, özellikle çekme dayanımının artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Lifler, betonun kırılmasını engeller ve mikro çatlakların yayılmasını sınırlandırarak, betonun genel dayanımını artırır. Liflerin türü, boyutu ve miktarı, betonun performansını doğrudan etkileyen önemli faktörlerdir. Çelik, cam, polimer gibi farklı lif türleri, betonun çeşitli özellikleri üzerinde farklı etkiler yaratır [56].

3.3.1 Çelik liflerin UYPB' nin mekanik özelliklere etkisi

Çelik liflerin ultra yüksek performanslı betonların (UYPB) mekanik özelliklerine etkisi, son yıllarda yapılan birçok araştırmanın ana konusu olmuştur. Çelik lifler, betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan etkili katkı maddelerindendir ve UYPB 'nin dayanımını artırmak için özellikle tercih edilmektedir.

Çelik lifler, betonun çekme dayanımını, darbeye karşı direncini ve çatlama kontrolünü önemli ölçüde artırır. Ayrıca, betonun çatlamaya karşı daha dirençli hale gelmesini sağlar ve bu sayede betonun uzun ömürlü olmasına katkı sunar [57].

Çelik liflerin UYPB 'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, betonun mikro yapısı ve kompozisyonu ile doğrudan ilişkilidir. Çelik liflerin doğru oranlarda kullanılması, betonun çekme, basma ve yorulma dayanımını artırabilir. Araştırmalar, çelik liflerin beton matrisine entegre edilmesiyle, betonun süneklik ve elastikiyetinin de iyileştiğini göstermektedir. Bu etkiler, özellikle yapısal elemanlarda daha verimli performans sergileyen betonların üretimi için önemli bir avantaj sağlamaktadır [58].

Bununla birlikte, çelik liflerin betonun yerleşimi, karışım oranı ve yerleştirme yöntemleriyle uyumlu bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Çelik liflerin dağılımı, betonun tüm yüzeyine homojen bir şekilde yayılmalı ve bu da betonun mekanik performansını doğrudan etkileyen bir faktördür. Aksi takdirde, yerleşim hataları betonun genel özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir [59].

Çelik liflerin UYPB'de nasıl performans gösterdiğine dair yapılan çalışmalara göz atıldığında, bu liflerin betonun gerilme, çekme ve akma dayanımlarını artırmada etkili olduğu görülmektedir. Örneğin, Sakr ve ark. [60] çalışmalarında , çelik liflerin, özellikle küçük çaplı ve kısa uzunluktaki liflerin, betonun makroskobik çatlama davranışını iyileştirdiğini belirtmiştir. Ayrıca, çelik liflerin betonun enerji emilimini artırarak, darbe ve aşınmaya karşı dirençli hale gelmesini sağladığını ifade etmektedirler.

Bunun dışında, çelik liflerin UYPB'deki etkinliğini inceleyen diğer bir çalışmada, Meson [61], çelik liflerin betonun dondurucu ve sıvı teması gibi çevresel etkilere karşı olan dayanıklılığını arttırdığına dair bulgular elde etmiştir. Ayrıca, betonun uzun dönem dayanımını iyileştiren bu liflerin, yüksek sıcaklık etkisinde bile yapısal bütünlüğü koruduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, çelik liflerin UYPB içinde önemli bir rol oynadığını ve bu tür betonların daha dayanıklı hale gelmesini sağladığını göstermektedir

Sonuç olarak, çelik liflerin UYPB'deki rolü, betonun dayanıklılığını artırmanın yanı sıra yapısal performansı da geliştirmektedir. Çelik liflerin doğru bir şekilde

kullanılması, ultra yüksek performanslı betonların daha güvenilir, dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlar.

3.3.2 Polimer liflerin UYPB' nin mekanik özelliklerine etkisi

Polimer lifler, ultra yüksek performanslı beton (UYPB) karışımlarında kullanılan önemli katkı maddelerinden biridir ve betonun mekanik özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Polimer lifler, betonu daha esnek hale getirerek çatlama direncini artırır, çekme dayanımını iyileştirir ve dolayısıyla betonun genel dayanıklılığını artırır. Bu lifler, betonun mikro yapısındaki bağları güçlendirir ve özellikle darbe yüklerine karşı direnç sağlar. Polimer liflerin, UYPB 'nin çekme, basma ve süneklik gibi temel mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiler yarattığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [62].

Polimer liflerin UYPB üzerindeki etkisi, kullanılan lif türüne, uzunluğuna, çapına ve oranına bağlı olarak değişir. Genel olarak, polimer liflerin beton matrisine entegre edilmesiyle betonun çekme dayanımı belirgin şekilde artar. Bu, betonun daha sağlam hale gelmesini ve özellikle çatlama anında daha yüksek direnç göstermesini sağlar [63]. Polimer liflerin yerleşimi ve düzgün dağılımı, betonun mekanik özelliklerini optimize etmek için kritik bir faktördür. Yetersiz dağılım, betonun homojenliğini olumsuz yönde etkileyebilir, bu da dayanım kayıplarına yol açabilir.

Araştırmalar, polimer liflerin betonun elastisite modülünü değiştirebileceğini ve dolayısıyla betonun daha esnek olmasını sağlayabileceğini göstermektedir. Bu esneklik, özellikle yapıların dinamik yükler altında daha iyi performans göstermesine neden olur. Ayrıca, polimer lifler, betonun suya karşı direncini artırabilir, çünkü bu lifler beton matrisinin suyun içine daha derin nüfuz etmesini engeller [57].

Polimer liflerin UYPB'deki etkisi, betonun genel performansını iyileştirmek için önemli bir rol oynamaktadır. Polimer lifler, betona eklendiklerinde çatlama, şok yükleri ve eğilme dayanımını artıran bir etkiye sahip olabilir.

Polimer liflerin UYPB üzerindeki etkileri, özellikle betonun çekme dayanımını artırmak ve mikro çatlakların yayılmasını engellemek üzerine yoğunlaşmaktadır. Polimer lifler, betonun mikroyapısında dağılarak, çekme gerilmesinin daha homojen

bir şekilde dağılmasına yardımcı olur ve bu da betonun kırılma noktalarını engeller. Bu liflerin mekanik özellikleri, betonun elastikiyet modülü, çekme dayanımı, eğilme dayanımı gibi temel parametrelerini önemli ölçüde iyileştirebilir. Çeşitli araştırmalar, polimer liflerin betonun dayanıklılığını artırarak, uzun vadeli performansını iyileştirdiğini göstermektedir [64].

Polimer liflerin beton içinde kullanımı, betonun plastisite özelliklerine de katkı sağlar. Bu lifler, betonun sertleşme sürecinde çatlama oluşumunu engellemeye yardımcı olabilir. Ayrıca, bu tür betonlar, deprem gibi dinamik yüklemelere karşı daha dayanıklı hale gelir. Polimer liflerin türü, boyutu ve oranı, bu mekanik özellikler üzerinde önemli bir rol oynamaktadır [65].

Sonuç olarak, polimer liflerin UYPB'ye katkıları, betonun hem mekanik hem de çevresel dayanıklılığını artırma yönünde önemli faydalar sağlamaktadır. Polimer liflerin doğru oranlarda kullanılması, ultra yüksek performanslı betonların daha dayanıklı, esnek ve uzun ömürlü olmasını sağlar.

3.3.3 Bazalt liflerin UYPB' nin mekanik özelliklerine etkisi

Bazalt lifleri, son yıllarda ultra yüksek performanslı beton karışımlarında kullanılmaya başlanmış ve betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için önemli bir katkı maddesi olarak öne çıkmıştır. Bu lifler, doğada bol bulunan ve çevre dostu özelliklere sahip olmalarının yanı sıra, yüksek sıcaklık ve kimyasal dayanım gibi avantajlar da sunmaktadır. Bazalt lifleri, betonun çekme dayanımını artırarak çatlama eğilimini azaltır, aynı zamanda betonun kırılma dayanımını ve darbeye karşı direncini güçlendirir. Bu özellikleri, özellikle yapıların dayanıklılığını artırmak amacıyla önemli faydalar sağlar [66].

Bazalt liflerinin UYPB üzerindeki etkisi, kullanılan lif oranına ve özelliklerine bağlı olarak değişir. Yüksek oranda bazalt lifi içeren beton karışımları, çatlama kontrolünü sağlarken betonun elastikiyetini ve süneklik özelliklerini de geliştirir. Yapılan araştırmalar, bazalt liflerinin betonun iç yapısındaki mikro çatlakları engellediğini ve bu sayede betonun daha yüksek dayanım sergilediğini ortaya koymuştur [67].

Bazalt liflerinin betonun mekanik özelliklerine olan etkisi, liflerin uzunluğu, çapı ve karışımdaki dağılımına göre değişkenlik gösterir. Yetersiz dağılım, betonun

dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir, bu nedenle bazalt liflerinin beton içinde homojen bir şekilde dağılması önemlidir. Ayrıca, bu liflerin betonun yerleşim özelliklerine de etki ettiği ve betonun işlenebilirliğini artırdığı gözlemlenmiştir [66]

Bazalt liflerinin UYPB üzerindeki etkisi, özellikle betonun çekme dayanımının ve eğilme dayanımının artırılmasıyla ilgilidir. Yapılan araştırmalar, bazalt liflerinin betonun mikro yapısını iyileştirerek, içindeki mikro çatlakların yayılmasını engellediğini ve bu şekilde betonun mekanik dayanımını artırdığını göstermektedir. Ayrıca, bazalt lifler, betonun elastikiyet modülünü artırarak, yapısal elemanların daha güçlü olmasına yardımcı olur. Bu lifler, UYPB'nin yüksek sıkıştırma dayanımına rağmen, çekme ve eğilme dayanımlarını iyileştirir [68]

Bazalt liflerinin avantajları, yalnızca mekanik özelliklerle sınırlı değildir. Bu lifler aynı zamanda betonun çevresel dayanıklılığını da artırabilir. Yüksek sıcaklık dayanımı, bazalt liflerini yangın dayanımını artırmak için ideal bir malzeme yapar. Ayrıca, bu liflerin korozyona karşı dirençleri, betonun suya karşı dayanıklılığını ve uzun ömürlü olmasını sağlar.

Sonuç olarak, bazalt liflerinin ultra yüksek performanslı betonlarda kullanılması, betonun dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü artıran önemli bir katkıdır. Bu lifler, betonun çekme ve kırılma dayanımını iyileştirirken, aynı zamanda çevresel dayanıklılığını da artırmaktadır.

3.3.4 Organik liflerin UYPB' nin mekanik özelliklerine etkisi

Organik lifler, ultra yüksek performanslı beton (UYPB) karışımlarında kullanılan önemli katkı maddelerindendir ve betonun mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla oldukça etkilidir. Bu lifler, özellikle çevre dostu özellikleri ile öne çıkar ve betona elastikiyet, esneklik, çekme dayanımı ve çatlama kontrolü gibi önemli avantajlar sağlar. Organik liflerin, UYPB'nin mekanik özellikleri üzerinde çeşitli olumlu etkiler yarattığı yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur [69].

Organik lifler, UYPB'nin çekme dayanımını artırarak betonun kırılma riskini azaltır ve dayanıklılığını artırır. Özellikle organik lifler, betonun mikro çatlaklarını engelleyerek daha sağlam ve dayanıklı bir yapı sağlar. Ayrıca, bu lifler betonun darbe dayanımını ve şok yüklerine karşı direncini artırarak betonun uzun ömürlü olmasına

katkı sunar . Bununla birlikte, organik liflerin UYPB üzerindeki etkisi, liflerin türüne, uzunluğuna, çapına ve karışımdaki oranına bağlı olarak değişir. Özellikle polipropilen gibi organik lifler, betonun elastikiyetini artırırken, belirli bir oranı aşan lif kullanımı işlenebilirlik açısından sorunlara yol açabilir. Yeterli lif dağılımı sağlandığında, organik lifler betonun mekanik özelliklerini güçlendirir ve çatlama eğilimini azaltır [69].

Sonuç olarak, organik liflerin UYPB'ye eklenmesi, betonun mekanik özelliklerini geliştirirken çevresel avantajlar da sağlar. Organik lifler, özellikle düşük maliyetli ve çevre dostu olmaları nedeniyle gelecekte daha yaygın bir şekilde kullanılabilir.



4. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, deneylerde kullanılan malzemelerin türü ve teknik nitelikleri ile birlikte, numune hazırlama süreci, parçacıkların düzenlenmesi, karışımın formülasyonu ve üretim aşamaları detaylandırılmıştır. Ayrıca, deneysel çalışmalarda uygulanan test yöntemleri, karışım oluşturma stratejileri ve üretim sırasında izlenen adımlar sistematik bir biçimde açıklanmıştır.

Bu çalışma kapsamında ultra yüksek performanslı betonların çeşitli liflerle (çelik tel lif, bazalt lif, mikrofiber lif) olan etkisi sonucunda ortaya çıkan mekanik davranışları incelemektir. Bu çalışma kapsamında UYPB'nin içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında bazalt lif, çelik tel lif, mikrofiber lif 150 mm x150 mm x150 mm'lik küp numunelere eklenerek 7, 28 ve 56 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca uygun agregaya deneyleri yapılarak UYPB de kullanılacak olan agregaya belirlenmiştir.

4.1 CEM I 42.5R Portland Çimento

Bu tez çalışmasında hazırlanan tüm karışımlarda, Ergani Limak Çimento firmasından temin edilen Şekil 4.1'deki TS EN 197-1 [70]'e uygun CEM I 42.5R tipi çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3.06 gr/cm³ olarak belirlenmiştir. Çimentonun mekanik özellikleri Tablo 4.1'de, fiziksel özellikleri ve kimyasal özellikleri ise Tablo 4.2'de sunulmuştur. Tablodaki değerler firma tarafından verilmiştir.



Şekil 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan CEM I 42.5R çimento

Tablo 4.1 Deneyde kullanılan çimento mekanik özellikleri

Bileşen (%)	CEM I 42.5R	TS EN 197-1
CaO	63.47	C+S $\geq$ %50
SiO ₂	19.81	-
Al ₂ O ₃	5.05	-
Fe ₂ O ₃	2.60	-
MgO	1.09	Lim. $\leq$ %5
SO ₃	3.01	Lim. $\leq$ %4
Na ₂ O	0.30	-
K ₂ O	0.71	-
Cl ⁻	0.0091	Lim. $\leq$ %0.10
Kız. Kaybı	4.11	Lim. $\leq$ %5
Çöz. Kalıntı	0.35	Lim. $\leq$ %5

Tablo 4.2 Deneylerde kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Analiz	TS EN 197-1
Priz Süresi (Başlama) (dk.)	min. 60
Priz Süresi (Bitiş) (dk.)	-
Yoğunluk (g/cm ³)	-
Özgül Yüzey (cm ² /g)	-
Toplam Hacim Genişlemesi (mm)	max. 10
40 μ Elek Üzeri Kalıntı	-
90 μ Elek Üzeri Kalıntı	-
Mekanik özellikler	
Basınç Dayanımı – 2 Gün (N/mm ²)	min. 20
Basınç Dayanımı – 7 Gün (N/mm ²)	-
Basınç Dayanımı – 28 Gün (N/mm ²)	min. 42.5 – max. 62.5

4.2 Silis Dumanı

Çalışmada kullanılan diğer bir bağlayıcı malzeme silis dumanıdır. Silis dumanı, diğer puzolanlar gibi portlandit (Ca(OH)_2) ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerinin oluşumunu teşvik eder. Bu sayede agrega yüzeyini sıkılaştırarak betonun mukavemetini artırır [71]. Yapılan çalışmalar, silis dumanı ilavesiyle betonun basınç dayanımında %20 ila %50 arasında artış sağlanabileceğini göstermektedir. Silis dumanı, düzenli kristal yapıya sahip olup ince taneli ve yüksek oranda SiO_2 içeren puzolanik bir malzemedir [72]. Bu çalışmada kullanılan silis dumanı, Türkiye’de faaliyet gösteren ferrokrom tesisinden temin edilmiştir. Şekil 4.2 de verilen silis dumanının özgül ağırlığı 2.20 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Ayrıca silis dumanının sahip olduğu kimyasal özellikler Tablo 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2 Silis dumanı

Tablo 4.3 Silis dumanı kimyasal özellikleri

Oksit	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
Silis Dumanı	86.2	0.70	0.38	0.81	4.83	0.68	-	-

4.3 Agrega Deneyleri

Bu bölümde agreganın özgül ağırlığı, su emme kapasitesi ve elek analizleri incelenmiştir.

4.3.1 Agrega özgül ağırlık ve su emme kapasitesinin belirlenmesi

UYPLB’lerde kaba agregalar kullanılmadığı için beton daha iyi sıkışabilmekte ve bu durum betonun işlenebilirliği ve dayanımına oldukça etki etmektedir. UYPLB’lerde kullanılan ince agregalar, beton yüksek taşıma kapasitelerine ulaştığında stabilitesini korumada yardımcı olmaktadır. UYPLB matrisinde en büyük boyutlu malzemeler agregalar olup agregalar silika kum, kuvars veya doğal kumdan oluşabilir. Bu çalışmada agrega kuvars agregası tercih edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan agregalar Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3 Kuvars agrega

Şekil 4.4’te gösterilen öğütülmüş kuvarz agreganın doymun yüzey kuru (DYK), gerçek ve hacimsel özgül ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.4’teki 105 ± 5 °C’de sabit ağırlığa ulaşana kadar etüvde kurutulmuş, ardından 24 saat süreyle suya doymun hale gelmesi için bekletilmiştir. Tablo 4.4’te TS EN 1097-6 [73] standartına uygun olarak özgül ağırlık ve su emme kapasitesinin hesaplanmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.4 Etüvde kurutulan agregâ numuneleri

Tablo 4.4 Agregâ su emme ve özgül ağırlık değeri

Agregâ boyutu	Özgöl Ağırlık(gr/cm ³)	Su Emme(%)
0-0.4 mm kuvars agregâsı	2.61	0.15
0.5 mm- 1 mm kuvars agregâsı	2.65	0.15
1 mm- 4 mm kuvars agregâsı	2.67	0.15

Çalışmada kullanılan kuvars agregalar; 0–0.4 mm, 0.5–1 mm ve 1–4 mm tane boyutlarına sahiptir. Karışımında, %30 oranında 0–0.4 mm, %40 oranında 0.5–1 mm ve %30 oranında 1–4 mm kuvarz agregâ kullanılmıştır. Agregâ elek deneyinde kullanılan elekler Şekil 4.5’te gösterilmiştir.. Elek açıklıklarından geçen agregâ gronölometrik gradasyon eğrisi Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

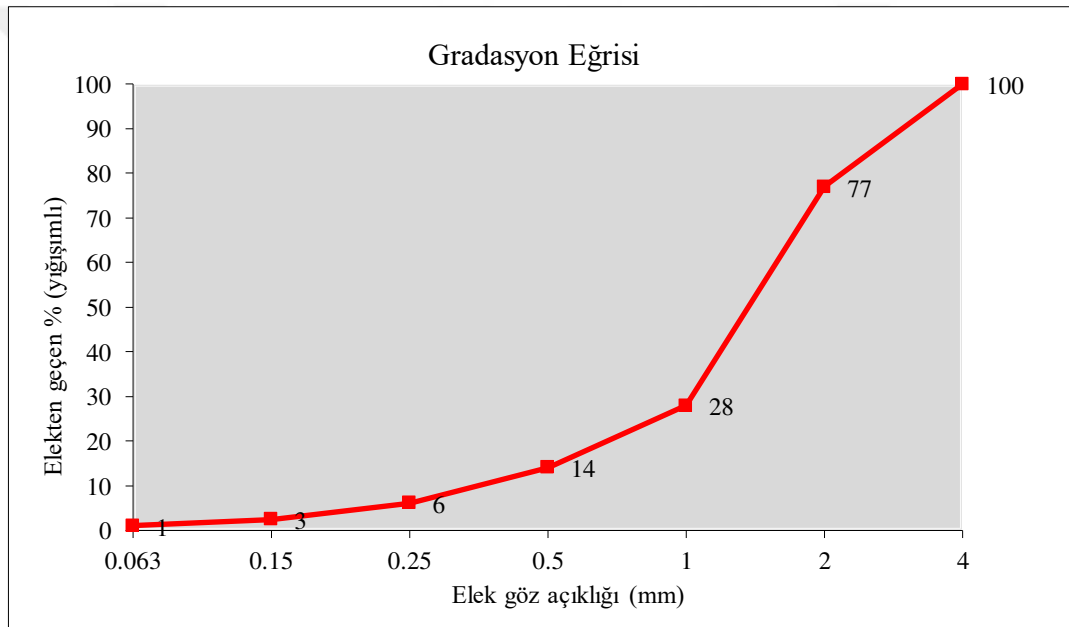


Şekil 4.5 Agregâ elek deneyi

Elek açıklıklarından geçen agrega granülometrik değerler tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Agrega granülometrik değerler (%)

Elek (mm)	Elekten geçen % (yığışım)			Karışım
	Min.	Orta	Max.	
0.063	1	3	4	1
0.15	3	6	9	3
0.25	6	11	16	6
0.5	9	17	24	14
1	13	23	33	28
2	18	31	43	77
4	22	38	52	100



Şekil 4.6 Karışımda kullanılan agregaların gradasyon eğrisi

4.4 UYPB' de Kullanılan Lifler ve Katkı Maddesi

Yapılan çalışma kapsamında UYPB'de kullanılacak olan çelik lif, bazalt lif ve mikrofiber liflerin karakteristik ve mekanik özellikleri ve aynı zamanda kullanılan katkı malzemesinin özellikleri incelenmiştir.

4.4.1 Mikrofiber lif

UYPB betonda kullanılacak olan mikrofiber lif Kratos firmasından temin edilmiştir. Saf poliamid 6.6 hammaddesinden EN 14889-2 [74] sınıf 1 standartına uygun olarak üretilen bu lifin başlıca karakteristik özellikleri Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Mikrofiber lif karakteristik özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	gr/cm ³	1.14
Uzunluk	mm	12
Filament Yarıçapı	mikron	27
Çekme Gerilmesi	MPa	900
Kopma Anındaki Uzama	%	17.55
Erime Noktası	°C	260
Fiber Adeti	kg	111 milyon(12 mm)
Lif Türü	Monofilament (Tekil Lif)	
Hammadde Türü	%100 Polyamid 6.6	

Mikrofiber lif diğer sentetik liflerden ayrılan yönlerinden biri %5 oranına kadar nemi içerisine alabilme özelliğine sahiptir. Bu durum taze beton aşamasından liflerde tutulan nemin beton prizini aldıkça betona geri verilmesini sağlar. Bu durum ısı ve rötreyle bağlı çatlakların oluşumu minimuma indirerek daha yüksek yapıda bütünlük sağlar. Kullanılan mikrofiber lif Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Mikrofiber lif

4.4.2 Çelik tel lif

Çalışma kapsamında UYPB de kullanılacak olan çelik tel lifi İntermix firmasından temin edilmiştir. Kullanılan bu çelik telin genel özellikleri arasında betonun mukavemetini artırarak çatlakları önlemesidir. Çelik tellerin beton içinde bulunması

durumu lifin geometrik şekline ve kenetlenme dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple birçok farklı formlarda çelik tel üretilmekte ve kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda betonda eğilme dayanımında, basınç dayanımında en büyük pozitif katkıyı düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığı görülmüştür [75, 76]. Bundan ötürü deneyde kullanılan lif iki ucu kıvrımlı çelik telden oluşmaktadır. Bu lifler TS EN 14889-1 [77] standartlarına göre yapılmıştır. Deneyde kullanılan çelik tel lif Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu lifin karakteristik özellikleri Tablo 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Çelik tel lif

Tablo 4.7 Çelik tel lif karakteristik özellikleri

Tip	Soğuk Çekilmiş-Tutkalsız
Kg başına tel sayısı	3200 tel/kg
Özgül Ağırlık	7.85 gr/cm ³
Çekme Mukavemeti	Min. 1100 N/mm ²
Uzunluk (l)	Uzunluk (l) 60 mm
Çap (d)	Çap (d) 0,90 mm
Performans Sınıfı (l/d)	65 Performans Sınıfı (l/d)
Tel sınıfı	Tel Sınıfı Sonu Kancalı Teller

4.4.3 Bazalt lif

UYPB betonda kullanılacak bir diğ er lif çeşidi ise bazalt liftir. Bu liflerin temini F ınal Advenced Materials firmasından temin edilmiştir. Bazalt lifler r  tre çatlaklarını azaltarak çatlakların giderilmesinde etkili bir   neme sahiptir. Ayrıca beton aşınma direncini artırarak çekme ve eğilme konusunda da mukavemet artışı sağlar. Kullanılan bazalt lif şekil 4.9’da g  sterilmiştir. Bazalt lifin karakteristik özellikleri tablo 4.8’de g  sterilmiştir.



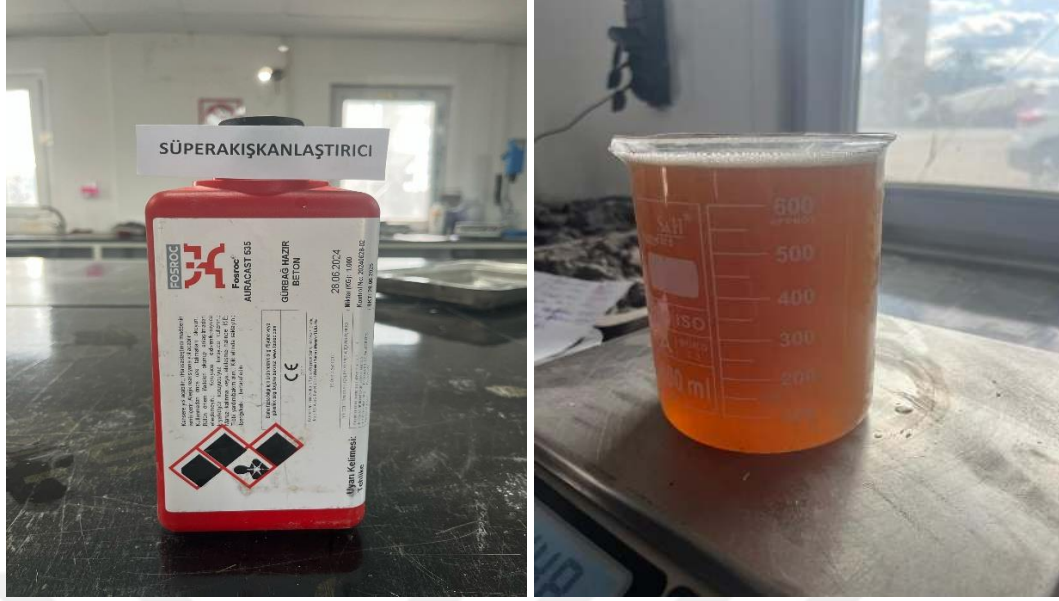
şekil 4.9 Bazalt lif

Tablo 4.8 Bazalt lif karakteristik özellikleri

Çekme Dayanımı	4840 MPa
Elastisite Modülü	89 GPa
Uygulama Sıcaklığı	-260�C - +982�C
Özgül Ağırlık	2.68 gr/cm ³
Elyaf �apı	9-23 mikron
Elyaf Uzunluğu	12 mm

4.4.4 Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi

UYPB de su/ imento oranını düşük olduğundan özel katkı maddesinin kullanılması gerekmektedir. Bu  alışma kapsamında kullanılan katkı maddesi Fosroc firmasına ait olan AURACAST 535 katkı maddesi kullanılmaktadır. Kullanılan bu katkı maddesi şekil 4.10’da g  sterilmiştir.



Şekil 4.10 Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi

Kullanılan bu katkı maddesinin başlıca karakteristik özellikleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9 AURACAST 535 katkı maddesi özellikleri

Renk	Kahverengi
Homojenlik	Homojen
Bağıl Yoğunluk(g/cm^3)	1.08
pH	4.20
Katı madde miktarı(%)	35.14
Suda çözünen klorür (%)	0.05

4.5 Deneyde Kullanılan Kalıp Malzemesi Özellikleri

UYPB betonda yapılan deney için standart olarak plastik malzemeden üretilmiş olan 150x150x150 mm’ lik küp kalıplar kullanıldı. Kullanılan küp numuneler Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Deneyde kullanılan 150x150 mm'lik küp numuneler

4.6 UYPB Üretimi ve Lif Katkılı UYPB Üretimi (LK-UYPB)

Bu çalışmada, kuvars agregası ve silis dumanı içeren ultra yüksek performanslı beton (UYPB) karışımlarının mekanik özellikleri incelenmiştir. Lif katkısı içermeyen UYPB karışımlarında bağlayıcı malzeme olarak çimento (Ç) ve silis dumanı (SD), agrega olarak ise kuvars agregası tercih edilmiştir. Ayrıca karışımın işlenebilirliğini artırmak amacıyla süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.. Çalışmada kullanılan su azaltıcı katkı Ros [78] ve Xincheng [79] çalışmaları incelererek belirlenmiştir. Deneysel araştırmada bağlayıcı miktarı 650 kg/m^3 olarak alındı ve su/bağlayıcı oranı 0.20 için araştırma yapılmıştır. Karışımlar üretilirken hava boşluğu %2 alındı. Ayrıca çimento özgül ağırlığı $\gamma_c=3.06 \text{ gr/cm}^3$ ve silis dumanı özgül ağırlığı $\gamma_{SD}=2.20 \text{ gr/cm}^3$ alınmıştır. Beton karışımlarında silis dumanı genellikle çimentonun kütleli miktarına göre %5 ile %15 arasında değişen oranlarda kullanılmaktadır. Bu kullanım aralığı, betonun hem mekanik özellikleri hem de dayanıklılığı açısından olumlu katkılar sunduğu bilinmektedir. Öte yandan, ultra yüksek performanslı beton (UYPB) gibi özel karışım türlerinde bu oran %20 seviyelerine kadar artırılabilir. Bu çalışmada %20 oranlarında silis dumanı çimento ile ikame edilmiştir.

Deneyisel çalışmanın ikinci aşamasında, UYPB karışımlarına farklı tür ve oranlarda lif katkıları eklenerek betonun mekanik ve dayanım özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kullanılan lif türleri çelik lif, bazalt lif ve mikrofiber lif olup, her biri karışımlara %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 olmak üzere dört farklı hacim oranında ilave edilmiştir. Lif katkılarının, betonun özellikle çekme dayanımı, eğilme dayanımı, gibi özelliklerini geliştirmesi beklenmektedir. Bu çalışmada hazırlanan ultra yüksek performanslı beton (UYPB) Lif katkısı içeren Ultra Yüksek Performanslı Betonların (LK-UYPB) sırası ile bazalt lif, mikrofiber lif ve çelik tel lifin hacimce beton karışım hesabında gerekli lif miktarları Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.10 Karışım için gerekli bazalt lif miktarı

Hacimce oran (%)	Lif Hacmi (m ³)	Lif Yoğunluğu (kg/m ³)	Gerekli Lif miktarı (kg)
0.5	0.005	2680	13.4
1	0.01	2680	26.8
1.5	0.015	2680	40.2
2	0.02	2680	53.6

Tablo 4.11 Karışım için gerekli mikrofiber lif miktarı

Hacimce oran (%)	Lif Hacmi (m ³)	Lif Yoğunluğu (kg/m ³)	Gerekli Lif miktarı (kg)
0.5	0.005	1140	5.7
1	0.01	1140	11.4
1.5	0.015	1140	17.1
2	0.02	1140	22.8

Tablo 4.12 Karışım için gerekli çelik tel lif miktarı

Hacimce oran (%)	Lif Hacmi (m ³)	Lif Yoğunluğu (kg/m ³)	Gerekli Lif miktarı (kg)
0.5	0.005	7850	39.25
1	0.01	7850	78.50
1.5	0.015	7850	117.75
2	0.02	7850	157

Hacimce bulunan gerekli lif miktarları UYPB ve LK-UYPB’ye göre oluşturulan beton karışım hesapları Tablo 4.13’te verilmiştir.

Tablo 4.13 Malzeme karışım oranları

Karışım	Şahit Numune	L0.5	L1.0	L1.5	L2.0
Portland Çimento	520	520	520	520	520
Silis Dumanı	130	130	130	130	130
0-0.4 mm kuvars agregası (kg/m ³)	486.64	486.64	486.64	486.64	486.64
0.5-1 mm kuvars agregası (kg/m ³)	658.79	658.79	658.79	658.79	658.79
1-4mm kuvars agregası (kg/m ³)	497.82	497.82	497.82	497.82	497.82
Su	130	130	130	130	130
Su/Bağlayıcı	0.2	0.2	0.2	0.2	0,2
Süperakışkanlaştırıcı	30	30	30	30	30
Çelik tel Lif	0	39.25	78.5	117.75	157
Mikrofiber Lif	0	5.7	11.4	17.1	22.8
Bazalt Lif	0	13.4	26.8	40.2	53.6
Bazalt Lif	0	13.4	26.8	40.2	53.6

Beton karışım hesabı Denklem 4.1'deki mutlak hacim formülü kullanılarak agreganın hacmi belirlenmiştir. Bu bilgilere göre karışım oranları hesap detayları aşağıda verilmiştir.

$$1000 = \frac{C}{\gamma_c} + \frac{SD}{\gamma_{SD}} + su + hava + V_a \quad (4.1)$$

Burada;

“C” çimento miktarı; “ γ_c ” çimento özgül ağırlığı; “SD” silis dumanı; “ γ_{SD} ” silis dumanı özgül ağırlığı ; “ V_a ” ise agreganın hacmini belirtmektedir.

m_1 (0-0.4 mm kuvars agregası) :%30

$$2.61 = m_1 / (620.97 \times (30/100))$$

$$m_1 = 486.64 \text{ kg}$$

m_2 (0.4-1 mm kuvars agregası) :%40

$$2.65 = m_2 / (620.97 \times (40/100))$$

$$m_2 = 658.79 \text{ kg}$$

m_3 (1-4 mm kuvars agregası) :%30

$$2.67=m_1/(620.97 \times (30/100))$$

$$m_2=497.82 \text{ kg}$$

Yapılan çalışma kapsamında karışım oranlarına göre UYPB ve LK-UYPB'ler Şekil 4.12'deki beton karıştırıcı mikserde ayrı ayrı ve her lif için hacimsel olarak eklenmesi ile üretilmiştir.



Şekil 4.12 UYPB beton mikserde üretimi

Lifler Şekil 4.13'te gösterildiği gibi, karışıma son aşamada, agregalar ve bağlayıcılar ile homojen bir karışım elde edildikten sonra eklenmiştir. Karışım süresi, liflerin düzgün dağılmasını sağlamak amacıyla uzatılmış ve özel dikkat gösterilmiştir. Lif ilavesi, taze betonun işlenebilirliğinde belirli ölçüde azalmaya yol açtığından, bu etkiyi dengelemek amacıyla süper akışkanlaştırıcı katkı miktarları lif oranlarına göre yeniden ayarlanmıştır. Her karışım için uygun kıvam ve akışkanlık elde edilene kadar deneme karışımları yapılmıştır. Böylece, hem liflerin homojen dağılımı hem de betonun döküm ve yerleştirme kolaylığı sağlanmıştır.



Şekil 4.13 LK-UYPB farklı hacimsel oranlarda üretimi

Kullanılan lifler, farklı hacim oranlarında karışımlara dâhil edilerek 150 mm × 150 mm × 150 mm boyutlarındaki küp numunelere uygulanmıştır. Her karışım, taze haldeyken kalıplara üç tabaka hâlinde dökülmüş; her tabakanın yerleştirilmesinde Şekil 4.14'te gösterildiği gibi çapı 16 mm ve uzunluğu 600 mm olan bir sıkıştırma çubuğu ile ön yerleştirme yapılmıştır. Ardından, lifli karışımın daha homojen ve boşluksuz bir şekilde kalıba yerleşmesini sağlamak amacıyla, frekansı 150 Hz olan daldırma tipi vibratör kullanılmıştır. Yerleştirme işleminin tamamlanmasının ardından, numune yüzeyleri tokmak yardımıyla düzeltilmiş ve sıkılaştırılmıştır. Böylece, liflerin beton içinde düzgün dağılması ve taze betonun kalıpta istenilen yoğunluğu sağlaması hedeflenmiştir.



Şekil 4.14 UYPB küp numunelere yerleşimi

Döküm işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 4.15’deki küp numuneler, oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda, ilk prizini tamamlayan numuneler dikkatli bir şekilde kalıplarından çıkartılmıştır. Kalıptan çıkarılan örnekler, deney öncesi Şekil 4.16’daki kür havuzunda test aşamasına kadar bekletilmiştir. Numunelerin, standart dayanım kazanımı için kür süresi boyunca havuz içerisindeki su seviyesi ve sıcaklığı düzenli olarak kontrol edilmiştir. Tüm numuneler, 7, 28 ve 56 günlük kür süresini tamamladıktan sonra ilgili mekanik deneylere tabi tutulmuştur.



Şekil 4.15 Deneyisel çalışmada kullanılan küp numuneler



Şekil 4.16 Kür havuzuna bırakılan numuneler

4.7 Sertleşmiş Beton Dayanım Testleri

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, her biri standart boyutlarda (150×150×150 mm) küp numuneler kullanılmıştır. Deney serileri, farklı kür sürelerinin etkisini değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu doğrultuda, hazırlanan numuneler 7, 28 ve 56 günlük kür sürelerinin sonunda basınç dayanım testine tabi tutulmuştur.

4.7.1 Basınç dayanımı

Numune basınç dayanımı tayini, TS EN 12390-3 [80] standardına uygun bir basınç deney makinesinde gerçekleştirilmiştir. Kür havuzundan çıkarılan beton küp numuneler, yüzeylerindeki serbest su alınarak kurulanmış ve ardından deney cihazına yerleştirilmiştir. Numuneler, Şekil 4.17'deki gibi dik doğrultuda (döküm yönüne dik) yük uygulanacak şekilde, basınç plakalarının merkezine, belirlenen çapın %1'ini geçmeyecek sapmayla konumlandırılmıştır. Yükleme hızı 0.6 N/mm²·s olacak şekilde ayarlanmış ve basınç dayanımı, sabit hızda artırılarak uygulanmıştır. Kırılma gerçekleşene kadar yükleme devam ettirilmiş ve elde edilen maksimum yük, numunenin basınç dayanımı olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.17 Beton basınç deney makinesi

Basınç dayanımı şu eşitlik ile hesaplanır:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (4.2)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı MPa (N/mm²)

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, (N)

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm²)

Yapılan çalışma kapsamında oluşturulan lifsiz UYPB ve lif oranlarına göre lif içeren (bazalt lif, çelik lif, mikrofiber lif) UYPB küp numunelerinin basınç deneyleri yapıldı.

4.7.2 Yarmada-çekme dayanımı

Yarma çekme dayanımı tayini, 150 mm boyutundaki küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.18’de, yarma çekme dayanımı deneyinde kullanılan çelik yükleme plakaları ile yükün numuneye düzgün şekilde iletilmesini sağlayan sıkıştırma şeritleri görülmektedir. Bu deney düzeneği, yükün beton numune boyunca homojen dağıtılması ve kırılmanın doğru bir şekilde gerçekleşmesi için kritik öneme sahiptir. Numuneler, karşılıklı iki kenarına temas eden çelik şeritler (veya düzgün yük dağılımı sağlayan takozlar) arasında, yükün ayrılma doğrultusunda iletileceği şekilde konumlandırılmıştır



Şekil 4.18 Yarmada çekme deneyi için kullanılan sıkıştırma şeridi ve çelik yükleme parçaları

Şekil 4.19’da, küp beton numunelerin deney cihazına yerleştirilmiş hali gösterilmektedir. Numuneler, yük eksenine dik olacak şekilde dikkatlice hizalanarak cihazın merkezine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.19 Yarmada çekme deneyi

Yükleme işlemi, TS EN 12390-6 [81] standardına uygun olarak, $0.05 \pm 0.02 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{s}$ hızında gerçekleştirilmiştir. Yük, sabit bir hızda artırılarak numune kırılana kadar uygulanmıştır. Kırılma anında elde edilen maksimum yük değeri, küp numuneye özgü uygun hesaplama yöntemiyle değerlendirilmiş ve yarma (ayrılma) çekme dayanımı elde edilmiştir. Yarmada çekme dayanımı şu eşitlik ile hesaplanır:

$$f_{ct} = \frac{2xF}{\pi xLxd} \quad (4.3)$$

Burada;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı MPa (N/mm^2)

F : En büyük kuvvet (N)

L : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisinin uzunluğu (mm)

d : Numunenin enkesit ölçüsü (mm)

5. BULGULAR

Beton inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Betondan beklenen en temel özelliklerden biri yüksek dayanım sağlama kapasitesidir. Betonda dayanım arttıkça karşılaşılan en önemli sorunlardan biri gevrekliktir. Son yıllarda betonun performansını artırmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmakta olup bunların başında Ultra Yüksek Performanslı Beton (UYPB) gelmektedir. UYPB, geleneksel betonlardan çok daha üstün özelliklere sahip olup, yüksek dayanım, düşük porozite, uzun ömür ve dayanıklılık gibi avantajlar sunar. Bu durum, yüksek dayanım ve uzun ömür sunan Ultra Yüksek Performanslı Betonların (UYPB) yapı sektöründe önemini her geçen gün artırmaktadır. Sağlamış olduğu bu üstün özellikler, betonun üretiminde kullanılan özel katkı maddeleri ve ileri teknolojiye dayanmaktadır. Yapılan çalışmada üretilen UYPB'nin bazalt, çelik, mikrofiber lif etkisinde, çeşitli hacim oranlarına göre basınç ve yarmada çekme deneyleri yapıp şu sonuçlar elde edilmiştir.

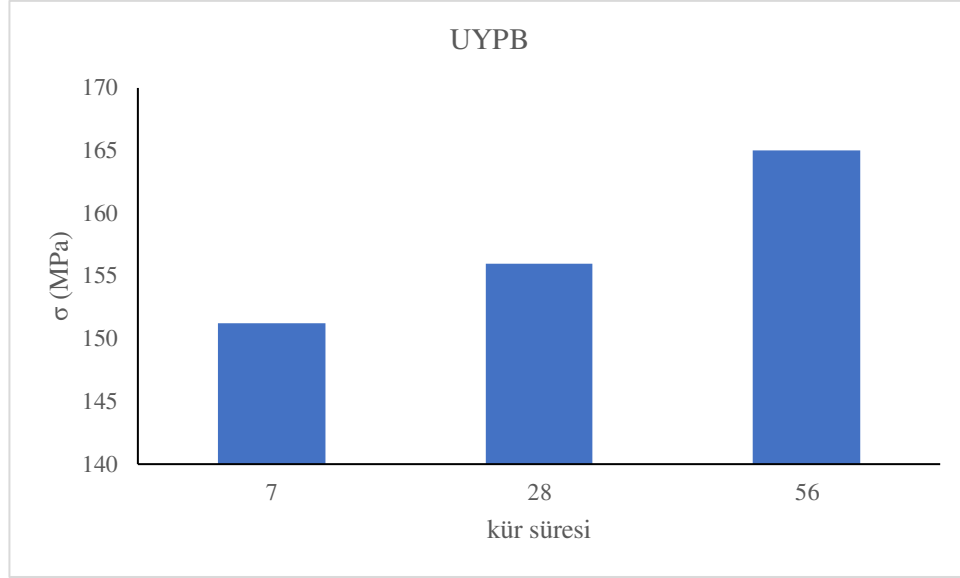
5.1 Basınç Küp Deney Sonuçları

5.1.1 UYPB (lif içermeyen) basınç dayanımı

Yapılan çalışmada, lif içermeyen ultra yüksek performanslı beton (UYPB) küp numuneleri laboratuvar ortamında üretilmiştir. Hazırlanan numuneler, uygun kür koşullarında 7, 28 ve 56 günlük sürelerle bekletilmiştir. Her yaş grubunda, numunelerin basınç dayanımı TS EN 12390-3 [80] standardına uygun olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.1 ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Buna göre betonun kür süresi arttıkça dayanımının da belirgin şekilde yükseldiğini göstermiştir. Bu durum, UYPB'nin yüksek yoğunluklu mikro yapısı sayesinde zamanla mekanik özelliklerini geliştirdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 5.1 Lif içermeyen UYPB basınç dayanımı

	7 günlük	28 günlük	56 günlük
Şahit numune	151.2 MPa	156 MPa	165 MPa



Şekil 5.1 Lif içermeyen UYPB basınç grafiği

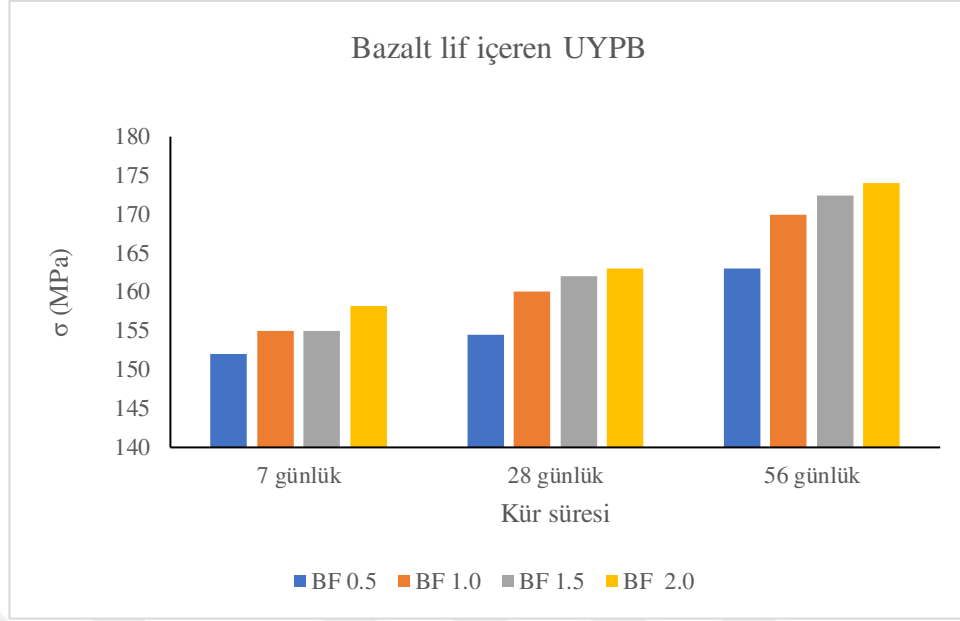
Elde edilen veriler, numunelerin zamanla dayanım kazanma eğilimlerini ortaya koymuş ve kür süresinin basınç dayanımı üzerindeki belirleyici etkisini göstermiştir. Özellikle erken yaş (7 gün) dayanımı ile uzun süreli (28 ve 56 gün) dayanım değerleri karşılaştırıldığında, zamana bağlı olarak malzemenin dayanımında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, çimento hidratasyonunun ilerlemesi ve iç yapının daha yoğun hale gelmesi ile ilişkilendirilmiştir.

5.1.2 Bazalt lif içeren UYPB basınç dayanımı

UYPB beton içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında bazalt lif eklenerek oluşturulan numunelerin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları aşağıda Tablo 5.2 ve Şekil 5.2’de grafiği verilmiştir.

Tablo 5.2 Bazalt lif içeren UYPB

%	7 günlük	28 günlük	56 günlük
BL 0.5	152 MPa	154.5 MPa	163 MPa
BL 1.0	155 MPa	160 MPa	170 MPa
BL 1.5	155 MPa	162 MPa	172.4 MPa
BL 2.0	158.2 MPa	163 MPa	174 MPa



Şekil 5.2 Bazalt lif içeren UYPB basınç grafiği

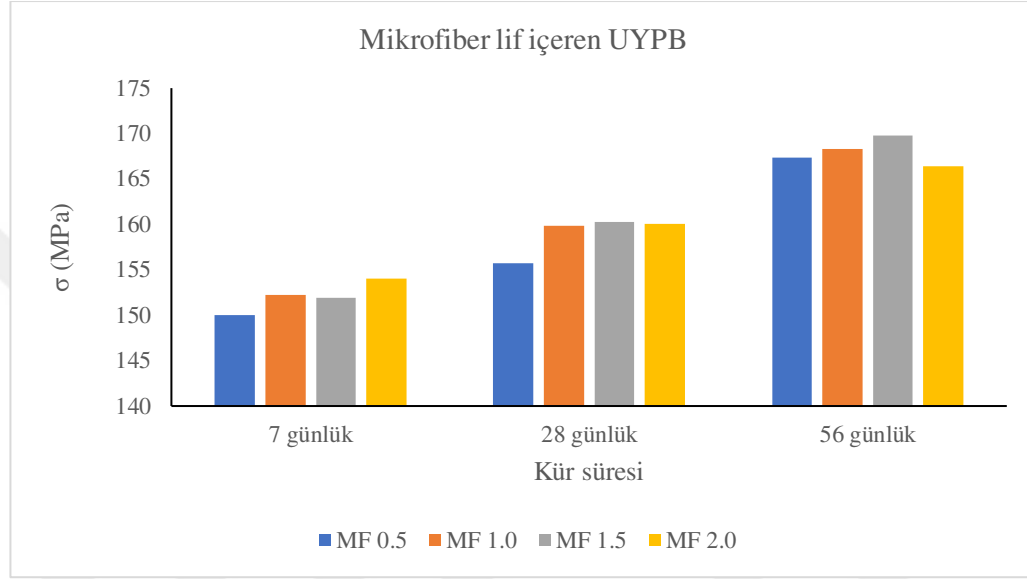
Basınç dayanımlarına bakılarak lif oranının artması 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımlarında artışa sebep olduğu görülmektedir. Ayrıca % 0.5 bazalt lif oranı içeren numunenin lif içermeyen UYPB betonuna göre 7 günlükte %0.53 fazla dayanım sağladığı, 28 günlükte %-0.96 az dayanım sağladığı, 56 günlükte ise %-1.21 daha az dayanım sağladığı görülmektedir. Aynı şekilde %1 bazalt lif oranı içeren numunenin lif içermeyen UYPB betonuna göre 7 günlükte %2.51 fazla dayanım sağladığı, 28 günlükte %2.56 fazla dayanım sağladığı, 56 günlükte ise %3.03 fazla dayanım sağladığı, %1,5 bazalt lif oranı içeren numunenin lif içermeyen UYPB betonuna göre 7 günlükte %2.51 fazla dayanım sağladığı, 28 günlükte %3.85 fazla dayanım sağladığı, 56 günlükte ise %4,48 fazla dayanım sağladığı, %2 bazalt lif oranı içeren numunenin lif içermeyen UYPB betonuna göre 7 günlükte %4.63 fazla dayanım sağladığı, 28 günlükte %4.49 fazla dayanım sağladığı, 56 günlükte ise %5.45 fazla dayanım sağladığı görülmektedir.

5.1.3 Mikrofiber içeren UYPB basınç dayanımı

UYPB beton içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında mikrofiber lif eklenerek oluşturulan numunelerin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları aşağıda Tablo 5.3 ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Mikrofiber lif içeren UYPB basınç dayanımı

%	7 günlük	28 günlük	56 günlük
MF 0.5	150 MPa	155.7 MPa	167.3 MPa
MF 1.0	152.2 MPa	159.8 MPa	168.3 MPa
MF 1.5	151.9 MPa	160.3 MPa	169.8 MPa
MF 2.0	154 MPa	160.1 MPa	166.4 MPa



Şekil 5.3 Mikrofiber lif içeren UYPB basınç grafiği

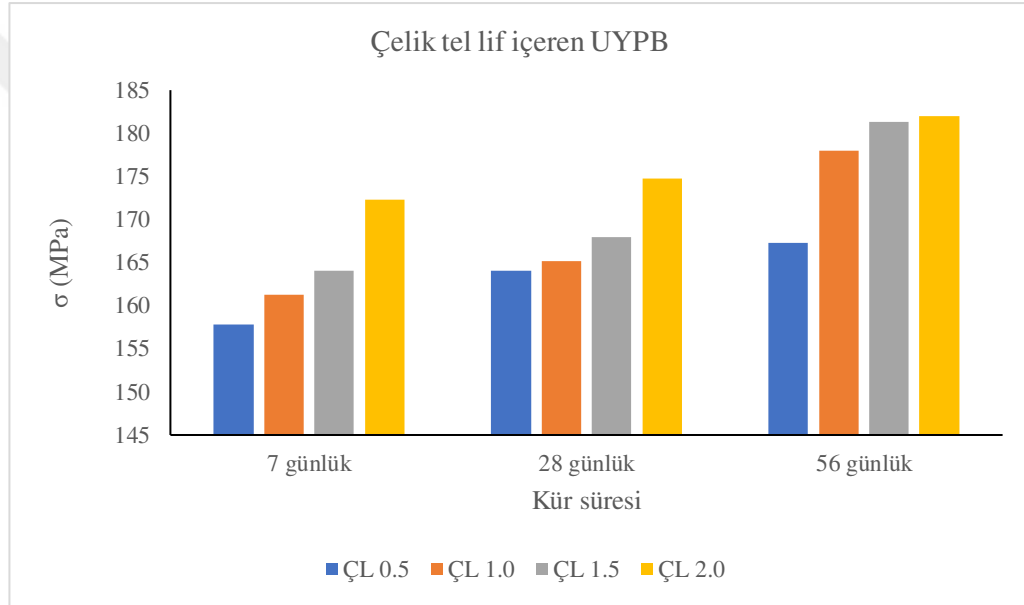
Basınç dayanımlarında genel olarak lif oranlarının artması basınç dayanımının artmasına neden olmuştur. Hacimce %0.5 lif oranı içeren mikrofiber lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %0.79 daha az dayanım sağladığı ve 28 günlükte de %0.19 az dayanım sağladığı 56 günlükte ise %1.39 fazla dayanım sağladığı görülmüştür. Hacimce %1 lif oranı içeren mikrofiber lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %0.66, 28 günlükte %2.44 ve 56 günlükte ise %2 oranında basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1.5 lif oranı içeren mikrofiber lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %0.46, 28 günlükte %2.76 ve 56 günlükte ise %2.91 oranında basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %2 lif oranı içeren mikrofiber lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %1.85, 28 günlükte %2.63 ve 56 günlükte ise %0.85 oranında basınç dayanımının arttığı belirlenmiştir.

5.1.4 Çelik tel lif içeren UYPB basınç dayanımı

UYPB beton içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında çelik lif eklenerek oluşturulan numunelerin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları Tablo 5.4'te ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Çelik tel lif içeren UYPB basınç dayanımı

%	7 günlük	28 günlük	56 günlük
ÇL 0.5	157.8 MPa	164.1 MPa	167.3 MPa
ÇL 1.0	161.3 MPa	165.2 MPa	178 MPa
ÇL 1.5	164 MPa	168 MPa	181.3 MPa
ÇL 2.0	172.3 MPa	174.8 MPa	182 MPa



Şekil 5.4 Çelik tel lif içeren UYPB basınç grafiği

Çelik tel lif kullanılarak oluşturulan numune basınç dayanımlarının hacimsel oran olarak lifsiz UYPB, bazalt lif ve mikrofiber liflerden daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Hacimce %0.5 lif oranı içeren çelik tel lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %4.37, 28 günlükte %5.19 ve 56 günlükte ise %1.39 fazla dayanımda olduğu belirlenmiştir. Hacimce %1 lif oranı içeren çelik tel lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %6.68, 28 günlükte %5.90 ve 56 günlükte ise %7.88 oranında basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1.5 lif oranı içeren çelik tel lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %8.47, 28 günlükte %7.69 ve 56 günlükte ise %9.88 oranında basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %2 lif oranı içeren çelik tel lif, lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %13.96, 28 günlükte %12.05 ve 56 günlükte ise %10.30 oranında basınç dayanımının arttığı belirlenmiştir.

Tablo 5.5 Deneysel çalışmada elde edilen basınç dayanımları

	Lif oranı hacimce %	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	56 günlük (MPa)
Lif içermeyen UYPB	Ş 0.0	151.2	156	165
Bazalt lif	BL 0.5	152	154.5	163
	BL 1.0	155	160	170
	BL 1.5	155	162	172.4
	BL 2.0	158.2	163	174
Çelik tel lif	ÇL 0.5	157.8	164.1	167.3
	ÇL 1.0	161.3	165.2	178
	ÇL 1.5	164	168	181.3
	ÇL 2.0	172.3	174.8	182
Mikrofiber lif	MF 0.5	150	155.7	167.3
	MF 1.0	152.2	159.8	168.3
	MF 1.5	151.9	160.3	169.8
	MF 2.0	154	160.1	166.4

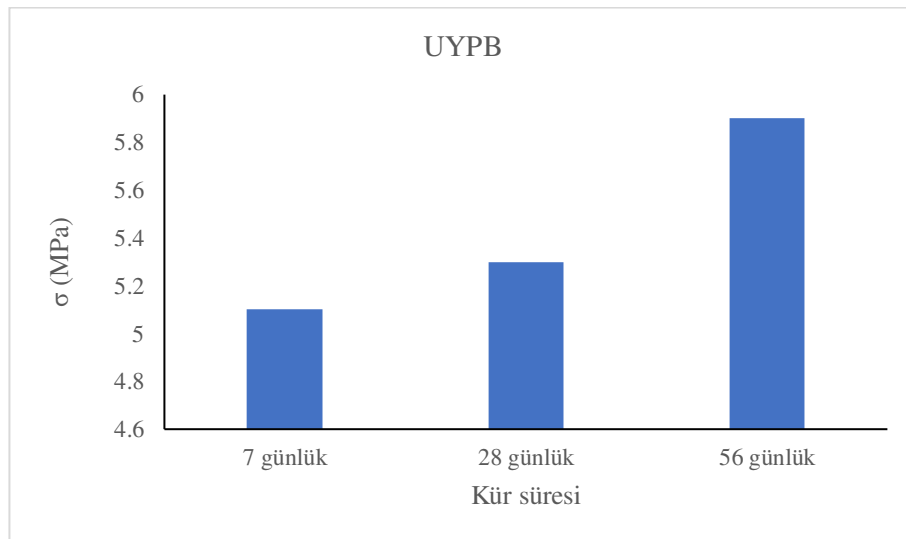
5.2 Yarmada Çekme Deney Sonuçları

5.2.1 Lif içermeyen UYPB yarmada çekme dayanımları

Yapılan çalışmada lif oranı içermeyen UYPB üretimi küp numunelerde hazırlandı. Bu numunelerin 7, 28 ve 56 günlük yarmada çekme dayanımı Tablo 5.6'da ve Şekil 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.6 Lif içermeyen UYPB çekme dayanımı

	7 günlük	28 günlük	56 günlük
Şahit Numune	5.1 MPa	5.3 MPa	5.9 MPa



Şekil 5.5 Lif içermeyen UYPB çekme dayanım grafiği

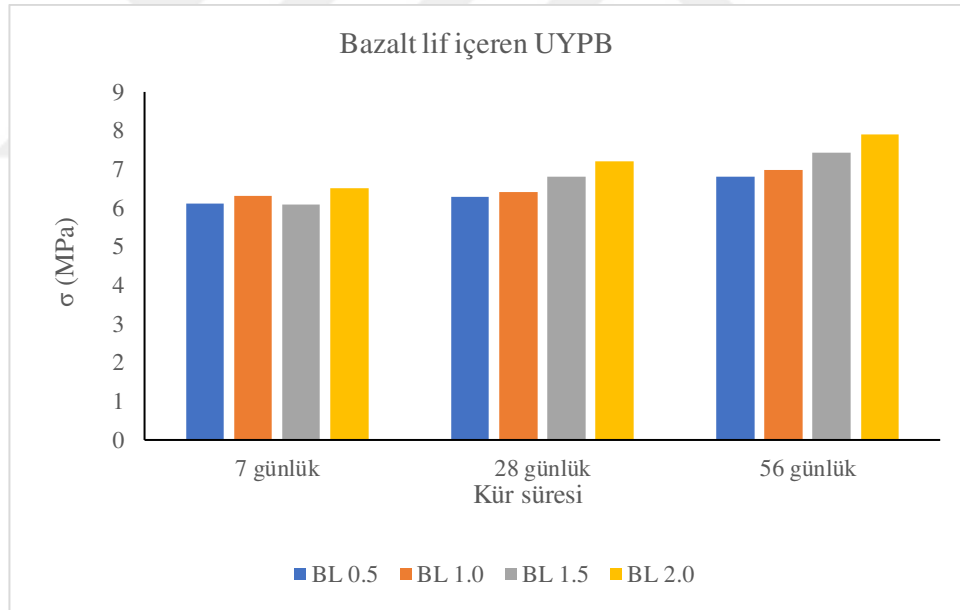
Elde edilen sonuçlar, numunelerin zamanla dayanım kazanma eğilimlerini ortaya koymuş ve kür süresinin çekme dayanımı üzerindeki etkisini göstermiştir. Özellikle 7, 28 ve 56 günlük çekme dayanım değerleri karşılaştırıldığında, zamana bağlı olarak malzemenin dayanımında artış gözlemlenmiştir.

5.2.2 Bazalt lif içeren UYPB çekme dayanımları

UYPB beton içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında bazalt lif eklenerek oluşturulan numunelerin yarmada çekme dayanımları Tablo 5.7 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Bazalt lif içeren UYPB çekme dayanımı

%	7 günlük	28 günlük	56 günlük
BL 0.5	6.12 MPa	6.28 MPa	6.82 MPa
BL 1.0	6.3 MPa	6.4 MPa	6.97 MPa
BL 1.5	6.1 MPa	6.8 MPa	7.43 MPa
BL 2.0	6.5 MPa	7.2 MPa	7.9 MPa



Şekil 5.6 Bazalt lif içeren UYPB çekme dayanımı

Bazalt lif kullanılarak oluşturulan numunelerin çekme dayanımları lif içermeyen UYPB'nin çekme dayanımlarından yüksek olduğu görülmektedir. Hacimce %0.5 oranında bazalt lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %20, 28 günlükte %18.49 ve 56 günlükte ise %15.59 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1 oranında bazalt lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'

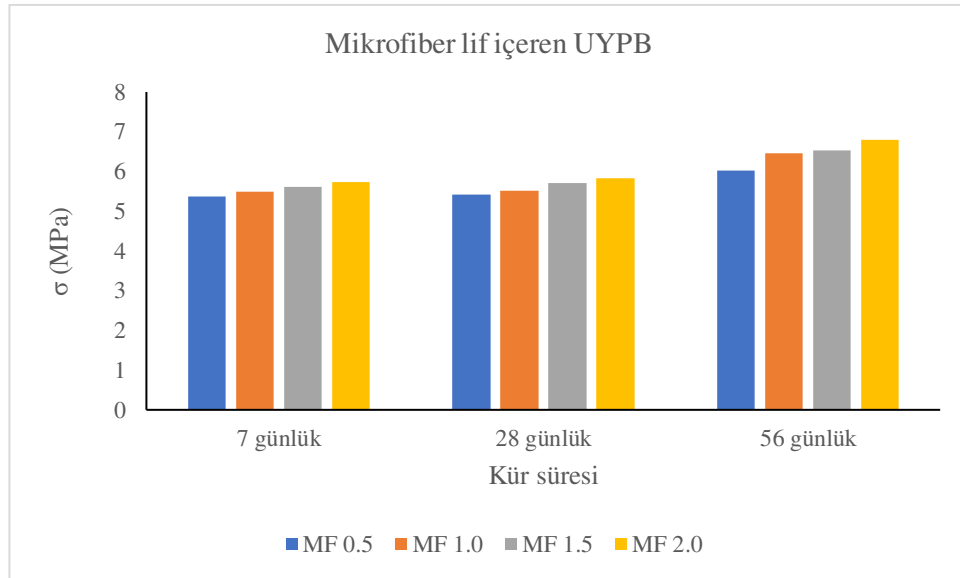
ye göre 7 günlükte %23.53, 28 günlükte %20.75 ve 56 günlükte ise %18.14 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1.5 oranında bazalt lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %19.61, 28 günlükte %28.30 ve 56 günlükte ise %25.93 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %2 oranında bazalt lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %27.45, 28 günlükte %35.85 ve 56 günlükte ise %33.90 oranında çekme dayanımının arttığı belirlenmiştr.

5.2.3 Mikrofiber lif içeren UYPB ekme dayanımları

UYPB beton içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında mikrofiber lif eklenerek oluştrulan numunelerin yarmada çekme dayanımları Tablo 5.8 ve Şekil 5.7'de gsterilmiştr.

Tablo 5.8 Mikrofiber lif içeren UYPB ekme dayanımı

%	7 günlük	28 günlük	56 günlük
MF 0.5	5.37 MPa	5.42 MPa	6.03 MPa
MF 1.0	5.48 MPa	5.51 MPa	6.45 MPa
MF 1.5	5.61 MPa	5.7 MPa	6.52 MPa
MF 2.0	5.73 MPa	5.82 MPa	6.8 MPa



Şekil 5.7 Mikrofiber lif içeren UYPB ekme dayanımı

Mikrofiber lif kullanılarak oluştrulan numunelerin çekme dayanımları lif içermeyen UYPB'nin çekme dayanımlarından yüksek bazalt lifin çekme dayanımından ise genel olarak düştük olduğu görülmektedir. Hacimce %0.5 oranında mikrofiber lif içeren

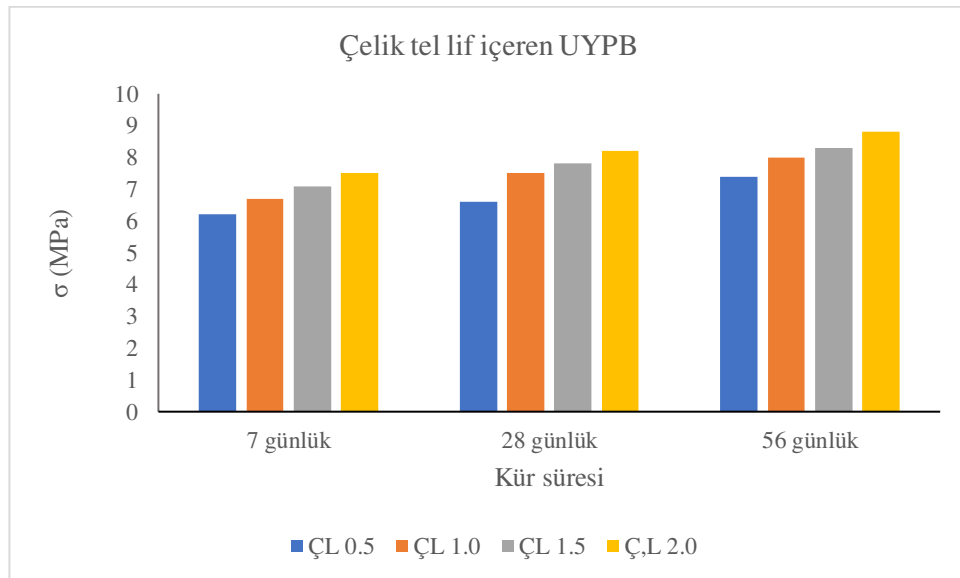
numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %5.29, 28 günlükte %2.32 ve 56 günlükte ise %2.20 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1 oranında mikrofiber lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %7.45, 28 günlükte %5.66 ve 56 günlükte ise %9.32 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1.5 oranında mikrofiber lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %10, 28 günlükte %7.55 ve 56 günlükte ise %10.51 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %2 oranında mikrofiber lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %12.35, 28 günlükte %9.81 ve 56 günlükte ise %15.25 oranında çekme dayanımının arttığı belirlenmiştir.

5.2.4 Çelik tel lif içeren UYPB çekme dayanımları

UYPB beton içine hacimce %0.5, %1, %1.5, %2 oranında çelik tel lif eklenerek oluşturulan numunelerin yarmada çekme dayanımları Tablo 5.9 ve Şekil 5.8'te gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Çelik tel lif içeren UYPB çekme dayanımı

%	7 günlük	28 günlük	56 günlük
ÇL 0.5	6.2 MPa	6.6 MPa	7.4 MPa
ÇL 1.0	6.7 MPa	7.5 MPa	8 MPa
ÇL 1.5	7.1 MPa	7.8 MPa	8.3 MPa
ÇL 2.0	7.5 MPa	8.2 MPa	8.8 MPa



Şekil 5.8 Çelik tel lif içeren UYPB çekme dayanımı

Çelik tel lif kullanılarak hacimce oluşturulan numunelerin çekme dayanımı lifsiz UYPB, bazalt lif ve mikrofiber liflere göre yüksek olduğu görülmüştür. Hacimce %0.5 oranında çelik tel lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %21.57, 28 günlükte %24.53 ve 56 günlükte ise %25.42 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1 oranında çelik tel lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %31.37, 28 günlükte %41.51 ve 56 günlükte ise %35.59 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %1.5 oranında çelik tel lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %39.22, 28 günlükte %47.17 ve 56 günlükte ise %40.68 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Hacimce %2 oranında çelik tel lif içeren numunelerin lif içermeyen UYPB'ye göre 7 günlükte %47.06, 28 günlükte %54.72 ve 56 günlükte ise %49.15 oranında çekme dayanımının arttığı belirlenmiştir.

Tablo 5.10 Deneysel çalışmada elde edilen yarmada çekme dayanımları

	Lif oranı hacimce %	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	56 günlük (MPa)
Lif içermeyen UYPB	Ş 0.0	5.1	5,3	5.9
Bazalt lif	BL 0.5	6.12	6,28	6.82
	BL 1.0	6.3	6,4	6.97
	BL 1.5	6.1	6,8	7.43
	BL 2.0	6.5	7,2	7.9
Çelik tel lif	ÇL 0.5	6.2	6,6	7.4
	ÇL 1.0	6.7	7,5	8
	ÇL 1.5	7.1	7,8	8.3
	ÇL 2.0	7.5	8,2	8.8
Mikrofiber lif	MF 0.5	5.37	5,42	6.03
	MF 1.0	5.48	5,6	6.45
	MF 1.5	5.61	5,7	6.52
	MF 2.0	5.73	5,82	6.8

6. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada UYPB karışımlarında kullanılan farklı tür liflerin (çelik tel lif, bazalt lif, mikrofiber lif) kullanılması ile elde edilen betonların mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu mekanik özellikler arasında basınç ve çekme dayanımı ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Basınç dayanımı ile ilgili elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Bazalt lifin hacimsel olarak eklenmesi (%0.5, %1, %1.5, %2) ile oluşturulan UYPB, lif içermeyen UYPB'ye göre 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımlarında genel olarak yüksek çıkmıştır.
- Mikrofiber lifin hacimsel olarak eklenmesi (%0.5, %1, %1.5, %2) ile oluşturulan UYPB, lif içermeyen UYPB basınç dayanımlarında %0.5 oranında 7 ve 28 günlükte düşük dayanım göstermekte olup diğer hacimsel oranlarda ve 56 günlükte basınç dayanımı ise lifsiz UYPB'ye göre yüksek çıkmıştır. Ayrıca bazalt life göre de basınç dayanımı daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun yanında mikrofiberlerin betonun homojenliğini artırarak mikro düzeyde çatlak kontrolü sağladığı tespit edilmiştir
- Çelik tel lifin hacimsel olarak eklenmesi (%0.5, %1, %1.5, %2) ile oluşturulan UYPB; lif içermeyen UYPB, bazalt lif ve mikrofiber lif içeren UYPB basınç dayanımlarından 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımlarından yüksek çıkmıştır.
- Kullanılan lif kombinasyonlarına bakıldığında basınç dayanımları arasında çelik tel lifin diğer lif içeren UYPB'ye göre yüksek dayanım sağladığı görülmüştür. Liflerin beton matrisine daha iyi aderansı ve yük transferini artırması bu sonucu doğurmuştur.

Çekme dayanımı ile ilgili elde edilen bulgular şunlardır;

- Kullanılan liflerin katkısı çekme dayanımı üzerinde çarpıcı etki yaratmıştır. Kullanılan bazalt lif, mikrofiber lif, çelik tel lif; lif içermeyen UYPB'ye göre yüksek çekme dayanımı göstermiştir.
- Çelik tel liflerin, özellikle doğrusallıktan sapma sonrası yük taşıma kapasitesine katkı sağladığı ve çatlak ilerlemesini büyük ölçüde yavaşlattığı tespit edilmiştir. %2 oranında eklenen çelik tel lifli UYPB, lif içermeyen UYPB çekme dayanımını 56 günlükte yaklaşık olarak %49

oranında artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca çelik tel lifin diğer liflere oranla çekme dayanımlarının daha yüksek çıktığı görülmüştür.

- Bazalt lifler, çekme dayanımını artırmada etkili olmuş; %2 oranında eklenen bazalt lifli UYPB, lif içermeyen UYPB'ye göre ise 56 günde yaklaşık olarak %33 oranında dayanımını artırmıştır. Ayrıca bazalt lifli betonların kırılma sonrası sünek davranış gösterdiği belirlenmiştir.
- Mikrofiber lif içeren UYPB, çatlak oluşumunu geciktirme ve yayılmasını önleme noktasında başarılı olmuş ancak hacimsel oranda artırılması ile işlenebilirliğinde azalma olmuştur. Diğer lif kombinasyonlara göre dayanımı az olduğu görülmekte olup %2 oranında eklenmesi ile oluşturulan UYPB, lif içermeyen UYPB'ye göre 56 günde yaklaşık %15 oranında dayanımında artış olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışma kapsamında bulunan basınç ve çekme dayanımına göre oluşturulan dayanım değerleri için genel sonuçlar şunlardır;

- UYPB'de kullanılan lifler, UYPB'nin sadece mekanik dayanımını değil, aynı zamanda süneklik, çatlak dayanımı ve darbe direnci gibi özelliklerini de iyileştirmiştir.
- Çelik lifler özellikle ağır yüklü yapılar için önerilmekteyken, bazalt ve mikrofiber lifler daha çok mikro çatlak kontrolü ve yüzey dayanımı açısından avantaj sağladığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Li, J. W. Z., Shi, C., Yuan, Q., Zhang ve Z., Durability of hultra-high performance concrate-Areview, Construction and Building Materials, no. 119296, p. 255, 2020.
- [2] R. Yu, P. Spiesz ve &. H. Brouwers, Mix design and properties assessment of Ultra-High-PerformanceFibre Reinforced Concrete(UHPRFC), Cement and Concrete Research, no. 56, pp. 29-39, 2014.
- [3] D. Yoo ve N. and Banthia, Mechanical properties of ultra-high-performance fibereinforced concrete: A rewiew., Cement and Concrete Composites, no. 73, pp. 267-280, 2016.
- [4] Taşdemir, M. A., & Bayramov ve F., Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, İTÜ Dergisi Mühendislik, no. 1(2), pp. 125-144, 2002.
- [5] P. Richard ve M. and Cheyrezy, Reactive powder concretes with high ductility and 200-800 MPa compressive strength., ACI Materials Journal, no. 91(3), pp. 507-518, 1994.
- [6] Rlchard, P., & Cheyrezy ve M., Composition of reactive powder concretes., Cement and Concrete Research, no. 25(7), pp. 1501-1511, 1995.
- [7] J. S. Park, Y. J. Kim, J. R. Cho ve S. J. & Jeon, Early-Age strength of ultra high performance concrete in various curing conditions, Materials, no. 8, pp. 5537-5553, 2015.
- [8] C. Wang, C. Yang, F. Liu ve C. Wan, Preparation of Ultra-High-Performance Concrete with common techonology and materials, Cement and Concrete Composites, no. 34(4), pp. 538-544, 2012.

- [9] A. K. Akhnoukh ve C. Buckhalter, Ultra-high-performance concrete: Constituents, mechanical properties, applications and current challenges., Case Studies in Construction Materials, no. 15(10), 2021.
- [10] V. H. Perry ve P. Eng, What really is ultra-high-performance concrete? Towards a Global Definition, The 2nd Int. Conference on Ultra-High Performance Concrete Material & Structures UHPFRC 2018, China, November 2018.
- [11] A. Sadrekarimi, Development of light-weight reactive powder concrete., Journal of Advanced Concrete Technology, cilt 2, no. 3, pp. 409-417, 2004.
- [12] M. Sanjuan ve C. Andrede, Reactive Powder Concrete: Durability and Applications, Applied Sciences, no. 11(12), p. 5629, 2021.
- [13] M. Amran, S. S. Huang, A. M. Onaizi ve N. Makul, Recent trends in ultra-high performance concrete(UHPC): Current status, challenges and future prospects., Construction and Building Materials, no. 352, p. 129029, 2022.
- [14] Z. Wu, C. Shi, W. He ve L. Wu, Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra-high performance concrete, Construction and Building Materials, no. 103, pp. 8-14, 2016.
- [15] S. T. Kang, J. I. Choi, K. T. Koh ve K. S. Lee, Hybrid effects of steel fiber and microfiber on the tensile behavior of ultra-high performance concrete., Composite Structures, no. 145, pp. 37-42, 2016.
- [16] A. L. Hoang ve E. Fehling, Influence of steel fiber content and aspect ratio on the uniaxial tensile and compressive behavior of ultra-high performance concrete, Construction and Building Materials, no. 153, pp. 790-806, 2017.
- [17] D. Gao, W. Zhang, J. Tang ve Z. Zhu, Effect of steel fiber on the compressive performance and microstructure of ultra-high performance concrete at elevated temperatures, Construction and Building Materials, no. 435, p. 136830, 2024.
- [18] S. Abbas, A. M. Soliman ve M. L. Nehdi, Exploring mechanical and durability properties of ultra-high-performance concrete incorporating various steel fiber

lengths and dosages, *Construction and Building Materials*, no. 75, pp. 429-441, 2015.

- [19] P. P. Li, Q. L. Yu ve H. J. H. Brouwers, Effect of coarse basalt aggregates on the properties of Ultra-High Performance Concrete (UHPC), *Construction and Building Materials*, no. 170, pp. 649-659, 2018.
- [20] A. Alsalman, C. N. Dang ve W. M. Hale, Development of ultra-high performance concrete with locally available materials, *Construction and Building Materials*, no. 133, pp. 135-145, 2017.
- [21] L. Zhang, J. Liu, Q. Zhang ve F. Han, Effect of steel fiber on flexural toughness and fracture mechanics behavior of ultrahigh-performance concrete with coarse aggregate, *Journal of Materials in Civil Engineering*, no. 30(12), 2018.
- [22] R. Wang ve X. Gao, Relationship between flowability, entrapped air content and strength of UHPC mixtures containing different dosage of steel fiber, *Applied Sciences*, no. 6(8), 2016.
- [23] T. Ayub, N. Shafiq ve M. F. Nuruddin, Mechanical properties of high-performance concrete reinforced with basalt fibers, *Procedia Engineering*, no. 77, pp. 131-139, 2014.
- [24] Z. Chen, X. Wang, L. Ding ve K. Jiang, Effects of macro basalt fibers on the tensile behavior of ultra-high-performance concrete, *Journal of Building Engineering*, no. 89(4), p. 109277, 2024.
- [25] Z. Xue, P. Qi, Z. Yan, Q. Pei, J. Zhong ve Q. Zhan, Mechanical properties and crack resistance of basalt fiber-reinforced self-compacting high-strength concrete: An experimental study, *MDPI Journal List*, no. 16(12), p. 4374, 2023.
- [26] D. Wang, Mechanical properties of high performance concrete reinforced with basalt fiber and polypropylene fiber, *Construction and Building Materials*, no. 197(5), pp. 464-473, 2019.

- [27] Y. Qian, D. Yang, Y. Xia ve H. Gao, Properties and improvement of ultra-high performance concrete with coarse aggregates and polypropylene fibers after high-temperature damage, *Construction and Building Materials*, cilt 364, no. 129925, 2022.
- [28] J. D. Rios, CifuentesH., C. Leiva ve M. P. Ariza, Effect of polypropylene fibers on mechanical and fracture behavior of heated UHPFRC, *International Journal of Fracture*, no. 223(9), 2020.
- [29] H. Kamani, A. Raval ve J. Pitroda, Influence of Steel Fiber on Mechanical Properties of Concrete, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, cilt 7, no. 6, 2020.
- [30] X. Luo, W. Sun ve S. Y. Chan, Steel fiber reinforced high-performance concrete: A study on the mechanical properties and resistance against impact, *Materials and Structures*, cilt 3, no. 34, pp. 144-149, 2001.
- [31] E. T. Dawood ve A. J. Hamad, Effect of glass fibers on mechanical properties of structural lightweight foamed concrete (SLFC), *Universty of thi-qar journal for engineering sciences*, cilt 4, no. 3, 2013.
- [32] K. Hannawi, H. Bian, W. P. Agbodjan ve B. Raghavan, Effect of different types of fibers on the microstructure and the mechanical behavior of Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concretes, *Hal open science*, no. 86, pp. 214-220, 2016.
- [33] Z. Chen, H. Fan, W. Zheng, S. Zhang, X. Wu, T. Fu ve D. Yu, Influence of Modified PVA Fiber on Ultra-High Performance Concrete and Its Enhancing Mechanism, *MDPI Journal List*, no. 16(23), p. 3449, 2024.
- [34] K. Q. Yu, J. T. Yu, J. G. Dai, Z. D. Lu ve S. P. Shah, Development of ultra-high performance engineered cementitious composites using polyethylene (PE) fibers, *Construction and Building Materials*, no. 158, pp. 217-227, 2018.

- [35] H. Yazıcı, The effect of curing conditions on compressive strength of ultra high strength concrete with high volume mineral admixtures, *Building and Environment*, no. 42(5), pp. 2083-2089, 2007.
- [36] B. Chen ve J. Liu, Contribution of hybrid fibers on the properties of the high-strength lightweight concrete having good workability, *Cement and Concrete Research*, no. 35(5), pp. 913-917, 2005.
- [37] A. L. N. Medina ve J. A. Garcia, Flexural behavior of environmentally friendly ultra-high-performance concrete with locally available low-cost synthetic fibers, *European Journal of Environmental and Civil engineering*, no. 26(11), 2021.
- [38] D. Mostofinejad, I. Moosaie, M. Eftekhar ve E. Hesami, Ultra-High Performance Hybrid Polyvinyl Alcohol-Polypropylene Fiber-Reinforced Cementitious Composites with Augmented Toughness and Strain-Hardening Behavior, *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, no. 46(12), 2022.
- [39] Ç. Yalçınkaya ve H. Yazıcı, Effects of ambient temperature and relative humidity on early-age shrinkage of UHPC with high-volume mineral admixtures, *Construction and Building Materials*, no. 144, pp. 252-259, 2017.
- [40] H. Ş. Arel, Effects of Curing Type, Silica Fume Fineness, and Fiber Length on the Mechanical Properties and Impact Resistance of UHPFRC, *Results in Physics* 6, no. 6, pp. 664-674, 2016.
- [41] P. Smarzewski, Effect of Curing Period on Properties of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Ultra-High Performance Concrete, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, no. 245(3), 2017.
- [42] T. Birol, Ultra yüksek performanslı lifli beton ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme davranışının incelenmesi Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 456182), Doktora Tezi, 2016.

- [43] E. Fehling, M. Schmidt, J. Walraven ve T. Leutbecher, Ultra-High Performance Concrete, UHPC: Fundamentals, Design, Examples, Berlin,Germany: BetonKalender, 2014.
- [44] L. Hussein ve L. Amleh, Size effect of ultra-high performance fiber reinforced concrete composite beams shear, Structural Concrete, no. 19, pp. 141-151, 2018.
- [45] K. Habel ve P. Gauvreau, Response of ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) to impact and static loading, Cement & Concrete Composites, no. 30(10), pp. 938-946, 2008.
- [46] B. A. Graybeal, Flexural Behavior of an Ultrahigh-Performance Concrete I-Girder, Journal of Bridge Engineering, no. 13(6), pp. 602-610, 2008.
- [47] D. Y. Yoo ve Y. S. Yoon, A review on structural behavior, design, and application of ultra-uigh-performance fiber-reinforced concrete, International Journal of Concrete Structures and Materials, no. 10(2), pp. 125-142, 2016.
- [48] K. Türker, H. Umut, T. Birol, A. Yavaş ve H. Yazıcı, Hybrid fiber use on flexural behavior of ultra high performance fiber reinforced concrete beams, Composite Structures, cilt 229, 2019.
- [49] A. N. Kocatürk, H. Sevtap, E. G. Aslan ve M. A. Taşdemir, Özel prefabrike elemanların ultra yüksek performanslı betonlarla üretimi, 6.Ulusal Beton Kongresi, (s. 447-458),, İstanbul, 2015.
- [50] H. Yazıcı, H. Yiğiter, A. Ş. Karabulut ve B. Baradan, Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete, Fuel, no. 87, pp. 2401-2407, 2008.
- [51] H. Yazıcı, M. Yardımcı, S. Aydın ve A. Karabulut, «Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes, Construction and Building Materials, no. 23, p. 1221231, 2009.

- [52] C. Wu, D. Oehlers, M. Rebentrost, J. Leach ve A. S. Whittaker, «Blast testing of ultra-high performance fibre and FRP-retrofitted concrete slabs, *Engineering Structures*, no. 31(9), pp. 2060-2069, 2009.
- [53] M. L. Silva, L. P. Prado, E. F. Felix, A. M. D. Sousa ve D. P. Aquino, The Influence of Materials on the Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Concrete (UHPC): A Literature Review, *MDPI Journal List*, no. 17(8), p. 1801, 2024.
- [54] X. Shao, W. Fan ve Z. Huang, Application of Ultra-High Performance Concrete in engineering structures, *Tumu Gongcheng Xuebao/China Civil Engineering Journal*, cilt 13, no. 54(1), 2021.
- [55] S. Allena, C. M. Newton, B. D. Weldon ve D. V. Jauregui, Mechanical Properties and Durability Issues of Ultra-High Performance Concrete - An Overview, *International Review of Chemical Engineering (IRECHE)*, no. 10(1), 2018.
- [56] K. Holschemacher, T. Müller ve Y. Ribakov, Effect of steel fibres on the mechanical properties of high-strength concrete., *Material & Design*, no. 31(5), pp. 2604-2615, 2010.
- [57] V. Rawat, R. Kumar, A. Sachan ve D. Tripathi, Effect of steel Fibre on Mechanical Properties of Metakaolin-Mixed Concrete, *Recent Advances in Structural Engineering*, no. 135, 2021.
- [58] A. Abushanab, W. Alnahhal, W. Sohail, N. Alnuaimi, R. Kahraman ve N. Altayeh, Mechanical and durability properties of ultra-high performance steel FRC made with discarded materials, *Journal of Building Engineering*, no. 44, 2021.
- [59] C. S. Mei, I. S. Brahim, N. N. Sarbini ve R. N. Mohamed, Behaviour of Plain Concrete and Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC) under Biaxial Stress-A review, *Conference Series Materials Science and Engineering*, no. 431(4), 2018.

- [60] M. A. Sakr, M. Abdelatty ve M. Ghazy, «Mechanical properties of ultra-high performance fiber concrete 4 a, International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering ICASGE'23, Hurghada, Egypt, 2023.
- [61] V. M. Meson, Durability of steel fibre reinforced concrete in corrosive environments, Technical University of Denmark, 2019.
- [62] H. Bahmani, D. Mostofinejad ve A. Dadvar, Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete Containing Synthetic and Mineral Fibers, ACI Materials Journal, no. 117(3), 2020.
- [63] J. Yang, B. Chen, J. Su, G. Xu, D. Zhang ve J. Zhou, Effects of fibers on the mechanical properties of UHPC: A review, Journal of Traffic and Transportation Engineering, no. 9(3), pp. 363-387, 2022.
- [64] D. Choi, K. Hong, M. Ochirbud ve D. Meiramov, Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) and Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete (UHPFRC) with Recycled Sand, International Journal of Concrete Structures and Materials, no. 17(1), 2023.
- [65] S. Subair, A. Paul ve E. John, The Effect of Fibre in Ultra High-Performance Concrete (UHPC): A Review, International Journal of Research in Engineering and Science, no. 11(6), pp. 141-151, 2023.
- [66] T. Ayub ve N. Shafiq, Mechanical Properties of High-performance Concrete Reinforced with Basalt Fibers, Procedia Engineering, no. 77, pp. 131-139, 2014.
- [67] H. A. A. Alaraza, M. Harun ve P. & Chiadighikaobi, The effect of minibars basalt fiber fraction on mechanical properties of high-performance concrete, Cogent Engineering, cilt 9, no. 1, 2022.
- [68] J. Zhang, Y. Zhao ve H. Li, Effect of Basalt Fibers on Mechanical Properties of High-Performance Concrete Containing Supplementary Cementitious Materials, International Conference on Strain-Hardening Cement-Based Composites, 2018.

- [69] B. Khaleel ve E. T. Dawood, Evolution of ultra high performance concrete using hybrid fibers: a review, Discover Concrete and Cement, cilt 1, no. 2, 2025.
- [70] TS EN 197-1 “Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü, 2002.
- [71] Ü. A. Doğan ve M. H. Özkul, Mineral katkılı betonlarda bileşimin basınç dayanımı ve, itüdergisİ, cilt 8, no. 6, pp. 121-132, 2009.
- [72] T. Y. Erdoğan, Beton, Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., 2003.
- [73] Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler: Bölüm 6 Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini, Mart 2002. [Çevrimiçi]. Available: <http://vota.com.tr/assets/ts-en-1097-6.pdf>.
- [74] Lifler - Betonda kullanım için - Bölüm 2: Polimer lifler - Tarifler, özellikler ve uygunluk, Ankara: TS EN 14889-2, 2006.
- [75] İ. B. Topçu ve A. Uğurlu, Çelik Lifli Betonlara Farklı Kıvam Yöntemlerinin Uygulanması ve Bunlar Arasındaki İlişkiler, DergiPark, cilt 27, no. 1, pp. 7371-7378, 2016.
- [76] A. S. Zaher, L. M. Hafez, Y. R. Tawfic ve O. Hammed, «Shear behaviour of fiber reinforced concrete beams,» Journal of Engineering Sciences, cilt 44, no. 2, pp. 132-144, 2016.
- [77] Lifler – Betonda kullanım için – Bölüm 1: Çelik lifler – Tarifler, özellikler ve uygunluk, Ankara: TS EN 14889-1, 2006.
- [78] P. S. Ros, Dosage optimization and bolted connections for UHPRC, Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 2013.
- [79] P. Xincheng, Super-High-Strength High Performance Concrete, London: Taylor & Francis Group, 2012, p. 276.

[80] Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3 :Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Ankara: TS EN 12390-3, 2003.

[81] Yarmada çekme dayanımının küp veya prizma şekilli numune kullanılarak tayini, Ankara: TS EN 12390-6, 2002.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

KÖSE, Mete Burak

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2025
Lisans	Dicle Üniversitesi	2020
Lise	İstanbul Ümîte Temel Lisesi	2016

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2021-2023	Özmersin İnşaat A.Ş	İnşaat Mühendisi
2023-2025	Gürbağ İnşaat	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Özel İlgiler

Tiyatro

Film izlemek

Kitap

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Mete Burak KÖSE
Öğrenci No	23806027
Ana Bilim Dalı	Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı
Program Türü	Proje ☐ Yüksek Lisans ☒ Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr Üyesi Senem YILMAZ ÇETİN
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	
Tez Başlığı	Ultra Yüksek Performanslı Betonların Çeşitli Lifler Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi
RAPOR BİLGİLERİ	
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası
Sayfa Sayısı	77
Raporlama Tarihi	23/07/2025
Benzerlik Oranı (%)	14

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 77 sayfalık kısmına ilişkin, 23/07/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 14 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒ Kaynaklar hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Mete Burak KÖSE

Tarih: 23/07/2025

İmza:

Danışman: Dr. Öğr Üyesi Senem YILMAZ ÇETİN İmza:

Tarih: 23/07/2025

Ana Bilim Dalı Başkanı: Prof. Dr. M. Salih KESKİN İmza:

Tarih: 23/07/2025