

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**3D,4D VE 5D ÇELİK LİF KATKILI BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME
ETKİSİ SONRASI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Dilan TURUNÇ
DANIŞMAN: Prof. Dr. Soner GÜLER

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**3D, 4D VE 5D ÇELİK LİF KATKILI BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ
SONRASI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Dilan TURUNÇ

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2022-10123
No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Soner GÜLER danışmanlığında, Dilan TURUNÇ tarafından sunulan “3D,4Dve 5D Çelik Lif Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 23/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:Prof. Dr. Soner GÜLER

İmza:

Üye:Dr. Öğr. Üyesi Muhammet KURUCU

İmza:

Üye:Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda AKBULUT

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..../..... tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Dilan TURUNÇ



ÖZET

3D, 4D VE 5D ÇELİK LİF KATKILI BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ SONRASI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

TURUNÇ, Dilan
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Soner GÜLER
Mayıs 2022, 41 sayfa

Betonun çekme ve eğilme dayanımlarının iyileştirilmesi yönündeki çalışmalar genellikle betona lif katkısı ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle çelik liflerin uç geometrileri geliştirilerek lifin beton içerisindeki çatlak köprüleme etkisini sağlamak amacıyla yeni nesil 3D, 4D ve 5D çelik lifler üretilmiştir. Üretilen lifsiz, 3D, 4D ve 5D çelik lif katkılı beton numunelerinde hedef beton basınç dayanımı 40 MPa olarak belirlenmiştir. Beton karışımına 3D, 4D ve 5D çelik liflerin katkısı hacimce %0.5 ve %1.5 oranlarında olmuştur. Çalışma kapsamında kontrol dâhil toplam 7 beton karışımı, belirlenen kalıplara deney şartlarına uyularak yerleştirilmiştir. Taze betona çökme yayılma testi uygulanmıştır. 28 gün boyunca kür havuzunda bekletildikten sonra çıkartılan numunelere 100 donma-çözülme (D-Ç) çevrimi uygulanmıştır. Ardından hem 100 d-ç çevrimine maruz kalmış hem de oda şartlarında bekletilmiş numunelere ultra ses geçiş hızı (USH), basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Eğilme dayanımı testi için 100x100x400mm boyutlarındaki kiriş numuneler, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı testleri için 100x100x100mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, hacimce %1.5 oranında 3D, 4D ve 5D çelik lif içeren beton numunelerin 100 D-Ç çevrimine maruz kalmış numunelerin oda koşullarındaki numunelere kıyasla sırasıyla %4.14%3.83 ve %3.23 oranında eğilme dayanımlarında azalış olduğu görülmüştür. Yine 100 D-Ç çevrimine maruz kalmış numunelerin kontrol beton numunesine göre ultrases geçiş hızını % 17, basınç dayanımını %12.5 ve eğilme dayanımını %19.2'lik değerler ile en çok arttıran numuneler hacimce %1.5 oranlı 5D çelik lif içerikli betonlar olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, 3D, 4D, 5D, Çelik lif, Donma-çözülme, Eğilme dayanımı.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF 3D, 4D AND 5D STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE AFTER FREEZE-THAW EFFECT

TURUNÇ, Dilan
M. Sc., Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Soner GÜLER
May 2022, 41 pages

Studies to improve the tensile and bending strengths of concrete are generally carried out by adding fiber to the concrete. For this reason, new generation 3D, 4D and 5D steel fibers have been produced in order to provide the crack bridging effect of the fiber in the concrete by developing the end geometries of the steel fibers. In the produced fiber-free, 3D, 4D and 5D steel fiber reinforced concrete samples, the target concrete compressive strength was determined as 40 MPa. The contribution of 3D, 4D and 5D steel fibers to the concrete mix was 0.5% and 1.5% by volume. Within the scope of the study, a total of 7 concrete mixes, including the control, were placed in the determined molds in accordance with the experimental conditions. The slump spread test was applied to the fresh concrete. After being kept in the curing pool for 28 days, 100 freeze-thaw (F-T) cycles were applied to the extracted samples. Then ultra sound transmission velocity (USH), compressive strength and flexural strength tests were applied to the samples, which were both exposed to 100 F-T cycles and kept at room conditions. For the bending strength test, beam samples of 100x100x400mm were used, and for the ultrasound transmission velocity and compressive strength tests, cube samples of 100x100x100 mm were used. When the results are examined, it is seen that the concrete samples containing 1.5% 3D, 4D and 5D steel fibers by volume have decreased flexural strengths of 4.14%, 3.83% and 3.23%, respectively, compared to the samples exposed to 100 F-T cycles. Again, it was determined that the samples, which were exposed to 100 F-T cycles, increased the ultrasound transmission rate by 17%, the compressive strength by 12.5% and the flexural strength by 19.2%, compared to the control concrete sample, and the concretes with 5D steel fiber content of 1.5% by volume.

Keywords: Concrete, 3D, 4D, 5D steel fiber, Freeze-thaw, Flexural strength.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Soner GÜLER'e ve Dr. Öğrt. Üyesi. Zehra Funda AKBULUT'a teşekkür ederim. Ayrıca bütün eğitim öğretim hayatımda desteklerini hissettiren başta değerli ailemin bütün fertleri olmak üzere özellikle bu süreçte yardımını esirgemeyen ağabeyim Rıdvan TURUNÇ'a minnettarım.

Lisans eğitimine başladığımdan beri bu yolda bana arkadaşlık eden Neriman KARŞIN'e ve bu tez sürecinin nasıl işlediğinden beni haberdar eden Behice ÖKER'e teşekkürlerimi sunarım.

2022

Dilan TURUNÇ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Lifler Hakkında Genel Bilgiler	3
1.1.1. Sentetik (yapay) lifler.....	5
1.1.2. Cam lifler.....	5
1.1.3. Polimerik lifler	6
1.1.4. Metalik lifler.....	6
1.1.4.1. Çelik lifler.....	6
1.2. Lifli Beton.....	7
1.2.1. Çelik lifli beton.....	7
1.2.1.1. Çelik lifli betonların kullanıldığı yerler.....	8
1.3. Durabilite	10
1.3.1. Lifli betonda durabilite.....	10
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Çelik lifler	17
3.1.2. Agrega.....	18
3.1.3. Çimento	19
3.1.4. Su.....	20
3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı	20
3.2. Beton Karışımlarının Hazırlanması	21
3.3. Yöntem.....	23

	Sayfa
3.3.1. Çökme yayılma testi.....	24
3.3.2. Donma-çözülme testi.....	24
3.3.3. Ultrases geçiş hızı.....	25
3.3.4. Basınç dayanımı testi	25
3.3.5. Eğilme dayanım testi.....	26
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
4.1.Çökme Yayılma Test Sonuçları	29
4.2. Ultra Ses Geçiş Hızı Deney Sonuçları	29
4.3. Basınç Dayanım Test Sonuçları.....	31
4.4. Eğilme Dayanımı Test Sonuçları	32
5.SONUÇLAR.....	35
KAYNAKLAR.....	37
ÖZ GEÇMİŞ.....	41

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1. 1. Lif çeşitlerinin mekanik özellikleri (Biber, 2001).....	4
Çizelge 1. 2. Bazı cam liflerin özellikleri (Çakır, 2013)	6
Çizelge 3. 1. Çelik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 3. 2. Çalışmada kullanılan çimentoya ait kimyasal bileşim	19
Çizelge 3. 3. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 3. 4. Beton karışımındaki malzeme miktarları	22
Çizelge 4. 1. Beton karışımlarının çökme yayılma değerleri	29
Çizelge 4. 2. Beton numunelerine ait USH (m/sn) değerleri.....	30
Çizelge 4. 3. Üretilen betonlara ait basınç dayanım deney sonuçları.....	32
Çizelge 4. 4. Betonlara ait eğilme dayanımı deney sonuçları	33

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Liflerin sınıflandırılması (Biber, 2001)	3
Şekil 1.2. Liflerin çatlakları köprülemesi (Sarı, 2013)	4
Şekil 1.3. Lifli betonların gerilme şekil değiştirme diyagramları (Hannant,2003)	5
Şekil 3.1. (a) 3D çelik lif, (b) 4D çelik lif, (c) 5D çelik lif.....	17
Şekil 3.2. 0-5 mm (ince agregası)(a) 5-12 mm (kaba agregası)(b).....	18
Şekil 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan çimentoya ait görsel.....	19
Şekil 3.4. Beton karışımında kullanılan süper akışkanlaştırıcı.....	21
Şekil 3.5. Beton numunelerinin üretim aşamaları.....	23
Şekil 3.6. Donma- çözülme test kabini.....	24
Şekil 3.7. Ultrases geçiş hızı tayini cihazı.....	25
Şekil 3.8. Basınç dayanım cihazında küp numune kırımı.....	26
Şekil 3.9. Eğilme dayanımı test cihazı.....	27
Şekil 4.1. Beton numunelerine ait USH (m/sn) değerleri.....	31
Şekil 4.2. Beton numunelerine ait basınç dayanımı değerleri.....	32
Şekil 4.3. Beton numunelere ait eğilme dayanımı değerleri.....	34



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

Al_2O_3	Alüminyum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
$^{\circ}C$	Santigrat derece
GPa	Giga Pascal
Fe_2O_3	Demir oksit
K_2O	Potasyum oksit
MPa	Mega Pascal
MgO	Magnezyum oksit
Na_2O	Sodyum oksit
SiO_2	Silisyum dioksit
TiO_2	Titanyum dioksit

Kısaltmalar

Açıklama

ASTM	Uluslar arası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
D-Ç	Donma-Çözülme
F-T	Freeze-Thaw
SA	Süper Akışkanlaştırıcı
s/ç	su/ çimento
TS	Türk Standartları
USH	Ultra Ses geçiş Hızı



1. GİRİŞ

Beton; agrega, çimento, su ve katkı maddelerinin belirli oranlarda karışımından elde edilir. Beton, başlangıçta plastik kıvamda olup sertleştikçe bulunduğu kabın şeklini alan yarı gevrek bir yapı malzemesidir (Aydeniz, 2012). Betonun basınç dayanım özelliği çekme ve eğilme dayanımına göre çok daha yüksektir. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %8-%12'sine denk gelmektedir (Gündüz ve ark., 2016). Betonun eğilme dayanımı ise basınç dayanımının yaklaşık olarak %20-25'ine tekabül etmektedir (Özdoğan, 2009). Bunların yanı sıra geleneksel betonun bulunabileceği olumsuz ortam koşullarına karşı dayanıklılığının (durabilitesinin) düşük olduğu bilinmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı betonun durabilitesini, çekme dayanımını ve eğilme dayanım özelliklerini geliştirmek amacıyla geçmişte olduğu gibi günümüzde de bazı çalışmalar yapılmaktadır.

Yapılan bu çalışmalar genel olarak betona farklı katkı malzemelerin ilavesi ile yürütülmüştür. Lifler betonun mekanik özelliklerini iyileştirmede önemli katkı malzemelerindedir. Betona lif katkısı ile beraber betonun eğilme dayanımı %20 ila %100'e kadar artış sağlayabilmektedir (Topçu ve Boğa, 2005; Deng ve ark., 2016; Güler, 2018). Buna ek olarak betona lif katkısının en önemli amacı oluşabilecek çatlakları engellemek ve çatlak ilerlemesini önlemektir. Ayrıca lifler betonun süneklik, çekme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğunu artırma görevini de üstlenmektedirler (Yardımcı, 2007; Zeynal, 2008; Altun ve Aktaş, 2013; Ranjbar ve ark., 2020).

Beton heterojen bir yapıya sahip olduğundan dolayı betonda farklı gerilme ve deformasyonlardan kaynaklı çatlaklar oluşur. Bu sebepten dolayı lifler kendi nihai çekme dayanımlarına ulaşıncaya dek oluşan kılcal çatlak miktarını sınırlamaktadır. Böylece kırılma birim uzaması çelik liflere göre daha az olan çimento hamurunda oluşabilecek kılcal çatlaklar engellenmektedir (Zeynal, 2008; Yalçın, 2009; Ünal ve Uygunoğlu, 2005).

Liflerin performansları; lifin kökenine, lifin tipine, lifin nihai çekme dayanımına ve kullanım miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Son zamanlarda tek kançalı 3D çelik lifler üreticiler tarafından geliştirilerek uçlarında iki kanca bulunan 4D ve üç kanca bulunan 5D çelik lifler üretilip piyasaya

sürülmüştür. Üretilen bu liflerin betona katkısıyla betonun mekanik ankraji artar ve oluşan gerilme daha kolay bir şekilde aktarılır. Liflerin uçlarında bulunan kanca sayısındaki artışın mekanik ankraji arttırması, lifi daha fazla çekme gerilmesine maruz bırakır. 4D ve 5D çelik lifler 3D çelik life göre; lif ankraji, çekme dayanımı ve süneklik açısından üstün bir performans sergilerler (Gao ve ark., 2021; Shafaei ve ark., 2017). Bundan dolayı lif üreticileri tarafından köprüleme kapasitesi arttırılmış kanca uçlu çelik lifler piyasaya sürülmüştür.

Liflerin çatlak gelişimini sınırlamada uç geometri özelliklerinin yanı sıra lif narinlik özelliği de son derece önemli bir parametredir. Uzun çelik liflerin kısa çelik liflere oranla çatlak oluşumunu sınırlama etkisinin daha fazla olduğu bilinmektedir (Abdallah ve ark., 2018; Ranjbar ve ark., 2020).

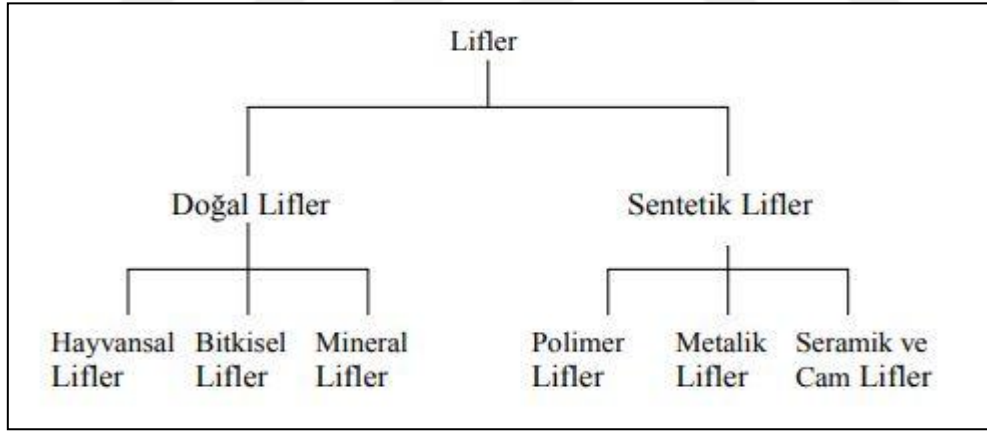
Betonun hizmet ömrü boyunca mekanik etkilerin yanında çeşitli dış etkilere de maruziyeti söz konusudur. Beton için en önemli dış etkenlerden birisi de donma-çözülme (D-Ç) etkisi altında kalmaktır. Betonda bulunan boşluk miktarı arttıkça bu boşluklar arasındaki bağlantı da artmaktadır ve böylece bu boşluklardan beton içerisine su girişi olur. Sıcaklık farklarından dolayı beton içerisine giren su donarak buz halini alır. Bu olay sonucunda hacimde, ilk hacme göre yaklaşık olarak % 9 oranında bir artış gerçekleşir. Betonun içyapısında meydana gelen buz, beton çeperlerine baskı yaparak betonda çatlama, betonun yüzeyinde ise soyulma ve dökülme gibi hasarlara sebep olur (Polat ve Özel, 2013; Şengül, 2003). Betonun D-Ç çevrim sonrasında suyun etkisi nedeniyle içyapısında tahribat oluşabilmektedir. Betonun D-Ç etkisine dayanıklılığını arttırmak amacıyla betonun içerisinde çeşitli katkılar ilave edilmekte veya düşük su/çimento oranı kullanılarak betonlar üretilebilmektedir (Gökçer ve ark., 2013).

Yapılan çalışmaların çoğunda, beton içerisine lif ilavesinin betonun donma-çözülme dayanıklılığına etkisinin önemli bir katkısı olmadığı belirtilmiştir. Ancak, çelik liflerin betonun mikro çatlak oluşumunu ve çatlak ilerlemesinin azalttığı belirtilmiştir. Bundan dolayı da betonun D-Ç çevrimi sonrası göçme ve tahribata uğramasını yavaşlattığı bildirilmiştir. Beton içerisine eklenen lifler çatlak köprüleme etkisi sayesinde oluşacak hasarı önlenmiş olmaktadır. D-Ç çevrimi sonrası çelik lif katkılı betonun kütle kaybının kontrol betonu ile benzerlik gösterdiği de literatürde belirtilmiştir. Liflerin beton içerisinde dağılımının betonun yüzeyinde oluşabilecek dökülmeye bir etkisi bulunmamaktadır (Ünal ve ark., 2003).

Bu çalışma kapsamında betonun olumsuz iklim koşullarına kötü adaptasyonu düşünülerek 3D, 4D ve 5D çelik liflerin her birinden hacimce ilk olarak %0.5 daha sonra %1.5 oranında katkısı betona gerçekleştirilmiştir. Ardından taze betonun çökme yayılma deneyi, elde edilen 28 günlük beton numunelerinin ise 100 donma- çözülme çevrimine maruz bırakılıp oda koşullarında bekletilen numunelere göre mekanik özellikleri incelenmiştir. Mekanik özellikler kapsamında beton numunelere ultrases geçiş hızı tayini, basınç dayanımı testi ve eğilme dayanımı testi uygulanmıştır.

1.1. Lifler Hakkında Genel Bilgiler

Lif, çapı boyuna göre oldukça küçük olan aynı malzemeden üretilmiş büyük hacimli elemanlara göre dayanımları yüksek olan yapay ve doğal olmak üzere sınıflandırılan yapı malzemeleridir. En eski doğal liflere; at kuyruğu, saman, kenevir ve keçi kılı örnek olarak verilebilir. Yapay olan lifler daha sonra insan eli ve makinelerin devreye girmesiyle ortaya çıkmıştır (Ekincioglu, 2003; Çakır, 2013). Lif çeşitleri Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır.

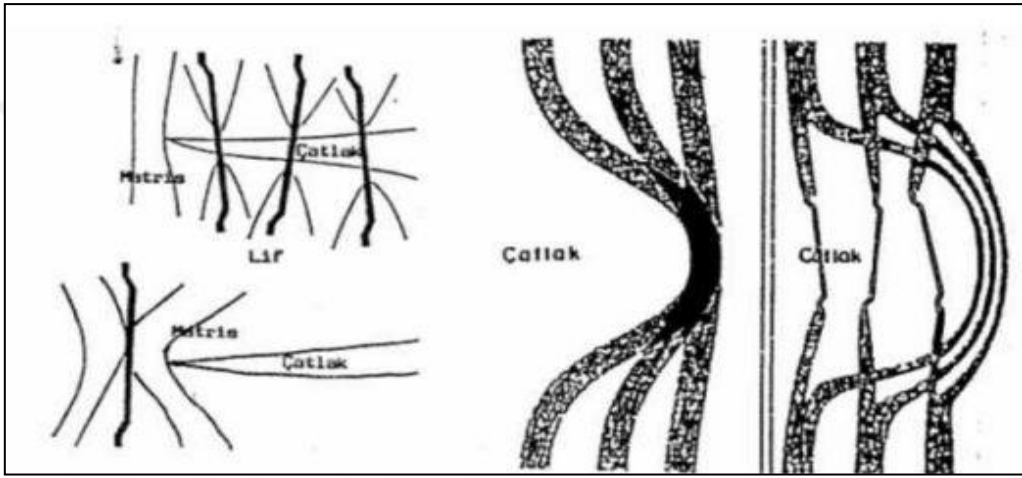


Şekil 1.1. Liflerin sınıflandırılması (Biber, 2001).

Yaygın bir şekilde beton içerisinde kullanılan farklı özellikteki liflere ait mekanik özellikler ise Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 1. Lif çeşitlerinin mekanik özellikleri (Biber, 2001)

Lif Çeşidi	Özgül ağırlık (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Maks.uzama (%)
Akrilik	1.1	207-414	2.1	25-45
Asbestler	3.2	552-996	83-138	0.6
Pamuk	1.5	414-690	4.8	3-10
Cam	2.5	1035-3795	69	1.5-3.5
Naylon	1.1	759-828	4.1	16-20
Polyester	1.4	724-863	8.3	11-13
Polietilen	0.95	690	0.14-0.4	10
Polipropilen	0.90	552-759	3.5	25
Yün-Pamuk	1.5	414-621	6.9	10-25

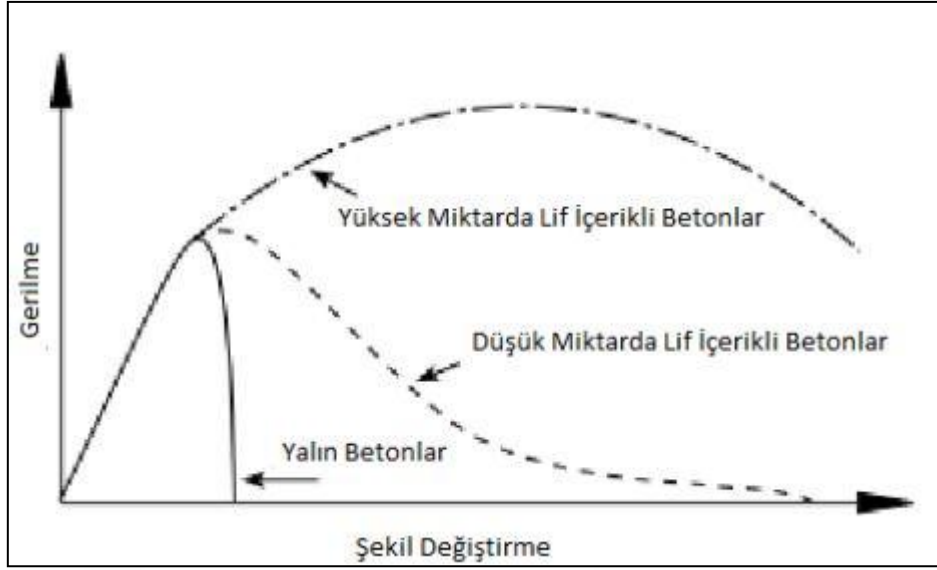


Şekil 1.2. Liflerin çatlakları köprülemesi (Sarı, 2013).

Lifler betonda katkı olarak kullanıldığında, betona kazandırdığı avantajlar aşağıda verilmiştir (Hannant, 2003).

- Taze betonda çatlakların oluşmasını sertleşmiş betonda ise çatlak ilerlemesini önler.
- Çekme ve eğilme mukavemetlerini artırır.
- Tokluğu artırır.
- Betonun gevrek kırılmasının önüne geçer.
- Dayanıklılığı artırır (Hannant,2003).

Lifli betonların gerilme şekil değiştirme eğrileri liffsiz (yalın) betonlara göre daha farklıdır. Yalın beton ve lifli betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin karşılaştırması Şekil 1.3.'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Lifli betonların ve geleneksel betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramları (Hannant, 2003).

1.1.1. Sentetik (yapay) lifler

Sentetik lifler, sanayi, tekstil ve petrokimya ürünü olan liflerdir. Sentetik lifler betonda oluşabilecek alkali ortama karşı dayanıklı malzemelerdir. Sentetik lifler, metal lifler (çelik gibi), cam lifler, seramik polimer lifleri kapsamaktadır. Genel olarak sentetik liflerin çekme dayanımları çok yüksek, elastisite modülleri düşük değerlerdedir (Kakar, 2019). Sentetik liflerden kompozit malzeme oluştururken kullanım miktarları % 0.5-%10'dır. Sentetik liflerin harç veya beton karışımına eklenmesi betonun veya harcın çekme ve darbe dayanımını artırır ve çatlak oluşumdan sonra sünek bir davranış sergilemesini sağlar (Çakır, 2013; Chawla, 1998).

1.1.2. Cam lifler

Aşınmaya karşı direnci ve sertlik derecesi yüksek olan cam lifler, reaktif olmayan malzemelerdir. Cam liflerin, korozyona karşı dirençleri yüksektir. Cam lifler diğer bazı liflere göre daha ekonomiktir (Sarı, 2013; Bahadır, 2007; Çakır, 2013). Cam lifler birden fazla tipte olup bütün tiplerin elastisite modülleri birbirine benzerdir (Ekincioglu, 2003; Bahadır, 2007; Çakır,2013). Bazı cam lif tiplerinin özellikleri Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1. 2. Bazı cam liflerin özellikleri (Çakır, 2013)

Cam lif tipi	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2.54	1.7-3.5	69-72
S	2.48	2.0-4.5	85
C	2.48	1.7-2.8	70

1.1.3. Polimerik lifler

Polimerik lifler çok yüksek mukavemetli, durabilite açısından alkali ortama dirençli ve ekonomik olduklarından dolayı inşaat sektörü için önemli bir yapı malzemesidir (Ersoy, 2001). Polimerik liflerden en çok bilinenleri polipropilen, naylon, polietilen, aramid ve perlondur (Ekincioğlu, 2003). Polimer lif çeşitlerinden polipropilen liflerin betona kazandırdığı en önemli özellik, taze betonda ilk birkaç saatlik dilimde oluşacak plastik büzölmelerden kaynaklı çatlakları kontrol altında tutmasıdır (Türkmenoğlu, 2016).

1.1.4. Metalik lifler

Metal lifler alüminyum, çelik, tunç ve bakırdan elde edilmektedir. Ayrıca, metaller lif üretiminde çok basit şekillerden başlayarak çok karmaşık şekil ve formlarda üretilebilirler (Sarı, 2013). Metalik lifler; uçaklarda, gaz borularında, petrol tesislerinde ampullerde, elektrikte, asma köprülerde kablo olarak, kullanılmaktadır (Ekincioğlu, 2003; Aral, 2006; Bentur ve Mindess, 2007; Çakır, 2013). Metalik liflerden inşaat sektöründe en yaygın kullanılanı çelik liflerdir.

1.1.4.1. Çelik lifler

En yaygın kullanılan lif türü olan çelik lifler, yapay malzemelerden üretilmektedir. Çelik liflerin yaygın olarak kullanılmasının sebebi, çelik lifin beton ile aderansının iyi olması, yüksek tokluğa sahip olmaları, işçiliğinin kolaylığıdır (Çiçek, 2021; Holschemacher ve ark., 2010). Çelik liflerin, çeşit ve üretiliş biçimine göre çekme dayanımları 345- 2100 MPa arasında değişkenlik gösterir (Bentur ve Mindess, 2007; Çakır, 2013).

Betona eklenen çelik lifler, aynı boydaki cam ve polimer liflere nazaran daha kalın ve daha serttir. Çelik liflerin üretimi ihtiyaca göre eritip çekme yöntemi ya da amorf yapıda şerit biçiminde gerçekleştirilir (Ekincioglu, 2003).

Betona katkı olarak kullanılabilen çelik lifler, Türk standardı TS 10513/92'na uygun aşağıdaki gibi sınıflandırılır (TS 10513/92).

- A: Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler,
- B: Bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler,
- C: Sonu kancalı lifler.

C sınıfı lifler sonlarındaki kancalara göre;

- İki ucu kıvrılmış lifler,
- Bir ucu kıvrılmış lifler olmak üzere ikiye ayrılır.

1.2. Lifli Beton

Geleneksel betona doğal veya sentetik lif katkısıyla oluşturulan kompozit malzemeye lifli beton denir. Görünüş itibariyle geleneksel beton ile benzerlik gösterse de, farklı yüklemelere ve dış etkilere maruz kaldığında, sergilediği performans geleneksel betondan çok farklıdır (Yerlikaya, 1998; Bahadır, 2007). Betonda çeşitli gerilmelerden dolayı mikro çatlaklar oluşmaktadır. Betona katılan lifler, çatlaklara sebep olan gerilmeleri aktaran küçük köprüler niteliği taşımaktadırlar. Lifler beton matrisinde üç boyutlu olarak dağılıp, oluşan çatlakların bitiminde bulduklarından dolayı çatlağın ilerlemesine neden olan gerilmeleri beton matrisin çatlamaş olan bölgelerine taşırlar (Yerlikaya, 1998).

1.2.1. Çelik lifli beton

Çelik lifli beton, geleneksel betona ilave olarak içerisinde homojen dağılmış küçük boyuttaki lifler bulunduran ve çoğunlukla ince agrega kullanılıp elde edilen bir kompozit yapı malzemesidir (Topçu, 2006).

Çelik lifli betonların performansını etkileyen en önemli faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Çelik lifin tipi,
- Çelik lifin geometrik yapısı,

- Çelik lifin hacimsel olarak oranı,
- Çelik lifin narinliği,
- Liflerin beton matrisindeki dağılımı,
- Liflerin betondaki yönelimi,
- Beton matrisinin mukavemeti,
- Lifli betonu oluşturma yöntemi (Zeynal, 2008)

Çelik liflilerin beton içerisindeki görevleri:

Eğilme dayanımı ve tokluk: Çelik liflerin en önemli görevlerinden biri ilk çatlak oluşuktan sonra betonun enerji yutabilme kapasitesini arttırmak ve eğilme dayanımını yükseltmektir (Kızıllıgın, 2009).

Çatlak kontrolü: Çelik lifler beton içerisinde oluşan çatlakları köprüleyerek çatlağın yayılmasını engeller (Kızıllıgın, 2009).

1.2.1.1. Çelik lifli betonların kullanıldığı yerler

Çelik lifli betonların geleneksel betonlara göre yapıya kattıkları avantajlardan dolayı kullanım alanı sürekli olarak genişlemektedir (Kozak, 2010). Çelik lifli betonların kullanım alanlarından bazıları aşağıdaki verilmiştir;

Depreme Dayanıklı Yapıların İnşasında: Türkiye sürekli büyük depremlerin görüldüğü bir ülke olduğu için yapılarda kullanılan betonun sünek olması istenmektedir. Fakat geleneksel betonların gevrek bir yapıda olması bu beklentiyi karşılamamaktadır. İşte bu noktada çelik lifli betonlar beklentiyi karşılayan yapı malzemesi olmuşlardır. Çelik lifli betonlardan elde edilen yapıların dinamik etkilere karşı enerji yutma kapasitesi geleneksel beton ile elde edilen yapılara nazaran daha yüksek olduğundan deprem kuvvetlerinin etkisi sonucu oluşacak yapısal hasarlar en aza indirilmektedir. Çelik lifli betonlarla yapılan yapıların süneklik düzeyi yüksek olacağından gelen deprem kuvvetlerini karşılamada yapının davranışı olumlu olacaktır (Düzgün, 2001; Hamzaçebi, 2015).

Kolon - Kiriş Birleşim Bölgesinde: Kolon kiriş birleşim bölgesinde etriye yerine çelik lif kullanmak kesme etkisinin fazla olduğu yerlerde kesme dayanımını arttırdığı bilinmektedir (Avcil, 2019). Geleneksel şekilde boyutlandırılmış ve etriye kullanılmış birleşim yerlerinde çatlaklar oluşurken, çelik lifli beton kullanılan birleşim yerlerinde ise çatlama oluşmamıştır. Çelik lifli beton birleşim yeri geleneksel kolon kiriş birleşim

bölgesine göre daha fazla moment taşıma kapasitesi sergilemiştir (Şimşek, 2004). Çelik lif katkısı kolon-kiriş birleşim bölgelerinin enerji yutma kapasitesini artırılabilir (Avcil, 2019).

Büyük Sıcaklık Farklarına Maruz Kalan Yapılarda: Büyük sıcaklık farklılıklarının olduğu, termal şok tehlikesi olan yapılarda kullanılmalıdır (Kozak, 2013).

Hidrolik Yapılarda: Baraj, su kanalı, dolu savak gibi yapıların kabuk kısmında kullanılabilir (Aktaş, 2007).

Beton, Betonarme Borular ve Altyapı Malzemeleri: Geleneksel donatılı altyapı betonarme elemanlarında, donatı uygulamasının yapılması işçilik ve zaman yönünden problemlere sebep olmaktadır. Bazen pas payı sorunları ve donatının kalıp içerisinde sabitlenememesi büyük olumsuzluk teşkil eder. Günümüzde betonarme borularda çelikten yapılan hasırların yerine çelik liflerin kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Çelik liflerin bu borularda kullanılması gerek işçilik, gerek zaman gerekse de maliyet açısından büyük yarar sağlamaktadır. Çelik lifler, beton malzemedan oluşan altyapı elemanlarında kullanıldıkları zaman ise ayrışmayı engelleyip sızdırma sorununu ortadan kaldırmaktadırlar (Kozak, 2013).

Fabrika Depo ve Hangar Döşemelerinde: Ağır yüklemelere maruz kalan döşemelerde, aşırı zorlamalar oluşmaktadır. Özellikle hareketli yüklere karşı döşeme betonunun dayanımının artırılması gerekmektedir. Lif katkılı betonlar, bu hareketli yükleri karşılayabilecek dayanımlara sahiptirler (Kozak, 2013).

Havaalanı Kaplamalarında: Havaalanı zeminlerinde genellikle çelik lifli beton kullanılmaktadır. Lifli betonların yüksek eğilme mukavemetli olmaları sebebiyle kaplama kalınlıkları azaltılabilmekte ve ekonomik hale gelmektedirler (Bahadır, 2007).

Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamalarında: Püskürtme beton karışımlarında genelde çimento yüzdesi fazla olduğu için rötre çatlakları meydana gelmektedir. Üstelik püskürtme beton uygulaması tünellerde olduğu gibi eğri yüzeylere yapıldığında çatlamanın çok fazla olmasına sebebiyet verir. Bu noktada çelik lifler püskürtme beton uygulamalarında çatlak kontrolünü sağlamak için pratik bir çözüm olmaktadır. Bu nedenle çelik lifli püskürtme beton barajların tamirinde, tünellerde, su kemerlerin gibi alanlarda uygulanmaktadır (Kozak, 2013; Çamkerten, 2020).

1.3. Durabilite

Yapılar servis ömürleri boyunca fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik kökenli birçok dış etkiye maruz kalmaktadırlar. Yapıların bu dış etkilere karşı göstermiş oldukları dirence durabilite ya da dayanıklılık denir (Özalp, 2016; Baradan ve Aydın, 2013; Bekem ve ark., 2009).

Betonda istenilen durabiliteyi elde etmek için betonun maruz kalabileceği iç ve dış etkiler aşağıda sıralanmıştır:

- Donma - çözölmeye karşı direnç,
- Sıcaklık farklarına karşı direnç,
- Aşınmaya karşı direnç,
- Yüksek sıcaklığa karşı direnç,
- Asit ve tuzlara karşı direnç
- Alkali silika reaksiyonuna karşı direnç (Küçük,2000).

1.3.1. Lifli betonda durabilite

Betonun başlıca problemlerinden biri olan durabiliteyi iyileştirmek için yıllardan beridir birçok katkı maddesi betona ilave edilip üzerine çalışılmıştır. Bu katkılardan biri de liflerdir. Polipropilen lifli betonun donma-çözölme direncinin lifsiz betona kıyasla daha iyi olduğu bilinmektedir (Karahana ve Atış, 2010).

Çelik liflerin betona katılması betonun geçirgenlik direncini azalttığı için çelik lifin betona dahil edilmesi donma-çözölme direncini artırır (Zhang ve ark., 2019). Donma-çözölme çevrimine maruz kalmış lifsiz beton numunelerin yüzeylerinde dökölmeler pullanmalar görülürken lifli beton numunelerinde bu duruma rastlanmamıştır (Kına, 2019).

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Karihaloo ve Vriese (1999), reaktif pudra betonuna kısa çelik lifleri hacimce %0 ve %4 oranlarında katmıştır. Üretilen beton numunelerine basınç dayanım testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre basınç dayanımındaki artış yaklaşık olarak %21 olmuştur.

Song (2004), betona çelik lif ilavesinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmasında, 35 mm uzunluğunda iki ucu kancalı çelik lif kullanmıştır. Beton karışımına hacimce %0.5, %0.1, %1.5 ve %2 oranında çelik lif katkısı yapılmıştır. Çalışma sonucunda, %1.5'lik çelik lif katkılı betonların kontrol betonuna kıyasla basınç dayanımında %15.3 oranında bir artış elde etmişlerdir.

Ünal ve Uygunoğlu (2005), deneysel çalışmalarında, çelik lif katkılı betonların farklı kür koşullarına bırakılması sonucu lif miktarının ve kür koşullarının mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Karışımlarda lif miktarı 0, 15, 30, 45 ve 60 kg/m³ olarak kullanılmış ve 5 farklı beton karışımı hazırlamışlardır. Üretilen numuneler hava ve su olmak üzere iki farklı küre tabii tutulmuştur. 7 ve 28 günlük prizmatik beton numunelerine üzerinde eğilme dayanımı, silindirik beton numunelerine ise basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneylerin sonucunda en yüksek basınç dayanımı 45 kg/m³ çelik lif katkılı betonlarda elde edilmiş olup betonun basınç dayanımının 37 MPa olarak belirlenmiştir. Betonda en yüksek eğilme dayanımı 60 kg/m³ çelik lif katkılı betonlarda elde edilmiş olup betonun eğilme dayanımı ise 7.6MPa olarak belirlenmiştir.

Akçay ve Taşdemir (2011), çalışmalarında hibrit çelik lif takviyeli kendiliğinden yerleşen betonların karışım tasarımı, işlenebilirliği, lif dağılımları, mekanik özellikleri ve kırılma davranışı incelenmiştir. Ucu kancalı ve kancasız üç farklı tip çelik lif beton hacminin %0.75 ve %1.5 oranında karışıma ilave edilmiştir. Taze beton karışımına uygulanan, U- kutusu, V- hunisi ve J- halkası testlerinin sonuçlarına göre betonun lif içeriği arttıkça işlenebilirliğinde azalma ve lif geometrisinin akışkanlığı etkilediği gözlenmiştir. Deneysel test sonuçları; uzun çelik liflerin dayanımı arttıkça eğilme dayanımının çok az arttığı halde yarmada çekme dayanımının değişmediğini göstermiştir. Dayanımları yüksek olan uzun çelik lifli betonlar normal dayanımlı çelik liflere göre arttırılmış dayanım ve süneklik davranışı gösterir.

Çakır (2013), farklı su/çimento oranlarındaki beton karışımlarına birbirlerinden ayrı özelliklere sahip naylon, makro sentetik ve çelik lifler farklı miktarlarda katılarak lifli beton tasarlanmıştır. Düşük dayanımlı çelik liften 20 kg/m^3 kullanılarak üretilen beton numunenin eğilme dayanımı kontrol numunesine göre önemli bir gelişim göstermemiştir. Fakat düşük dayanımlı çelik lif miktarı 30 kg/m^3 olan betonun eğilme dayanımı kontrol numunesine göre % 35 civarında artış göstermiştir. Yüksek dayanımlı çelik liflerden 20 kg/m^3 ve 30 kg/m^3 kullanıldıklarında ise eğilme dayanımındaki artış %20 civarında olmuştur. Bu durum kiriş numunelerinin eğilme dayanımındaki değişimin lif dayanımından çok lifin miktarına bağlı olduğunu göstermiştir.

Alparslan (2015), deneysel çalışmasında ucunda tek kanca bulunan 3D çelik lif ve ucunda çift kanca bulunan 4D çelik liflerin betona katkısıyla betonun tokluğu, çatlak kontrolü, basınç dayanımı ve eğilme davranışı gibi etkenleri incelemiştir. Sonuçlar, çelik lifli betonun basınç yükü altında göçme anında dağılmaması çelik lifli betonun basınç mukavemetini arttırması ile ilişkili olduğu söylenebilir. Çelik lif katkılı betonun yarmada çekme mukavemetinin ve eğilme altında sergilediği davranış, çelik lifin miktarı, çelik lifin çeşidi ve beton matris mukavemeti ile değiştiği gözlemlenmiştir. En iyi performans artışı eğilme davranışında olduğu görülmüştür. Beton matris mukavemetinin ilk çatlağı meydana getiren yük ve tokluğu konusunda önemli bir faktör olduğu saptanmıştır.

Taşkan (2017), çelik lif katkı miktarının ve özelliklerinin farklı olduğu betonlar üzerine çalışmıştır. Bu kapsamda, 3D, 4D ve 5D çelik liflerin her birinden 15, 30, 45, 60 kg/m^3 miktarlarında basınç mukavemetleri C40/50, C50/60 ve C80/95 olan betonlara takviye edilmiştir. Üretilen beton numunelerine basınç dayanım testi, eğilme mukavemeti deneylerinin yanı sıra başka testlerde yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, düşük (15 kg/m^3) lif içeriğine sahip numunelere bakıldığında her iki ucunda da üç kanca bulunan 5D çelik lif tipi içeren betonlar en iyi tokluk değerine sahip olmuşlardır. En iyi sonuçları veren betonlar çelik lif içeriği 30 kg/m^3 ve 45 kg/m^3 olup sırasıyla 3D, 4D ve 5D çelik lifli betonlar olmuştur. Yüksek (60 kg/m^3) lif içerikli bütün numunelerden ise en iyi tokluk değerine ulaşan 5D çelik lifli beton numuneleri olmuştur. Genel olarak 3D, 4D ve 5D çelik lifli beton numunelerin eğilme mukavemetleri ortalama olarak sırasıyla 4.0, 4.3 ve 4.7 MPa değerlerinde olmuştur. Kullanılan çelik lif çeşit ve miktarının

basınç mukavemeti ve elastisite modülü üzerine büyük bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Niş (2017), araştırmasının temel amacı farklı, çelik lif hacim ve tipleri (kısa ve uzun) içeren kendiliğinden yerleşen çelik lifli betonların performansını etkileyen parametrelerin incelenmesidir. Bu malzemelerin taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri çeşitli deney yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu amaçla lifsiz ve 2 farklı çelik lif hacmi (0.5% ve 1%) ve iki farklı lif uzunluğu içeren 5 karışım üretilmiştir. Bu 5 karışım ile değişik boyutlarda numuneler üretilmiştir. 6 farklı genişlik ve derinlik (30 mm - 100 mm), 4 değişik uzunluk (200 mm - 425 mm) kullanılarak, kesme açıklığının kiriş derinliğine oranı (a/d) ve numune kalınlığının lif uzunluğuna oranı (t/FL) parametrelerinin küçük boyutlu kirişlerin mekanik performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında incelenen parametrelerden her ikisi de (a/d ve t/FL oranı) ve değişen lif parametreleri, elde edilen mekanik performansı ve eğilme atındaki çatlak biçimlerini büyük ölçüde etkilemiştir. Çentikli numuneler üzerinde gerçekleştirilen 3 noktalı eğilme deneyleri mevcut bir model kullanılarak lifli numunelerin eğilme davranışını modellemek için yapılmıştır ve bu model kısa lifli numuneler için yeni parametreler kullanılarak daha da geliştirilmiştir.

Gündüz ve ark.(2018), çelik tel kanca tipinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu deneysel çalışma için 3 farklı kanca tipine sahip çelik tellerin 3 farklı dayanıma sahip beton karışımlarına 4 farklı oranda ilave edilip beton numuneler üretilmiştir. Üretilen çelik lif donatılı beton numunelere basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı testleri uygulanmıştır. Ayrıca elastisite modülü ve kırılma parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre çelik lif kanca tipi ve çelik lif miktarı, basınç dayanımını ve elastisite modülünü önemli ölçüde etkilememiştir. Bunun yanı sıra 5D kanca uçlu çelik lifler yarmada çekme dayanımını %38.3 arttırmıştır.

Abdallah ve ark. (2018), amaçları lif geometrisinin ve lif tipinin beton içerisindeki dağılımının beton çatlama sonrası davranışı üzerindeki etkisini incelemektir. 3D, 4D ve 5D çelik lif katkılı kendiliğinden yerleşen beton silindir numunelere tek eksenli çekme testi uygulanmıştır. 3D, 4D ve 5D çelik lifler beton karışımına hacimce %0.5 ve % 1 oranlarında katılmıştır. Çıkan sonuçlara göre lif içeriği

arttikça çatlama sonrası dayanımı önemli derecede artmıştır. Ayrıca pekleşme davranışı yalnızca 5D çelik lif türünde gözlemlenmiştir.

Kızılırmak ve ark.(2019), uçlarında kanca bulunan, yeni nesil liflerin dozaj ve narinlik oranının yüksek performanslı betonun darbe ve statik yükler etkisindeki dayanım ve kırılma enerjisi üzerine etkisine bakmış ve 3D lifler ile karşılaştırılmasını yapmıştır. Sonuçlar hacimce %0.76 oranında 65/60 lif içeren betonlarda, kırılma enerjisini 3D liflere kıyasla %35 oranında en fazla arttıran 5D lifler olduğunu göstermiştir. Darbe yükleri etkisi altında kalan 3D, 4D ve 5D lifli yüksek performanslı betonlardan en iyi performansı gösteren narinlik oranı 65 olan 5D lifli numuneler olmuştur. Bunların sebebi kanca sayısının 5D lifinde 3D ve 4D lifine göre kanca sayısının fazla olmasıdır.

Zhang ve ark. (2019), Nano-SiO₂ ve çelik lifin betona katkısının, dayanıklılığı üzerine etkisini araştırmışlardır. Beş farklı nano-SiO₂ partikül dozu ve beş farklı çelik lif dozajları ile karışım hazırlanmıştır. Sonuçlar, nano-SiO₂ parçacıklarının eklenmesinin nano-SiO₂ içeriğinin artmasıyla birlikte önce betonun dayanıklılığının arttığı ve sonra azaldığını göstermiştir. Aşırı sayıda ortamda nano-SiO₂ partikülü, betonun dayanıklılığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabildiği düşünülmüştür. Betona doğru miktarda çelik lif ilavesinin karbonatlaşma direncini iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca çelik liflerin katkısı betonun geçirgenlik direncini azalttığı gözlenmiştir. Çelik lifin betona katkısı donma-çözülme direncini arttırdığı ve artan çelik lif içeriği ile nano parçacıklar içeren betonun çatlama direncinin arttığı ortaya çıkmıştır.

Kına (2019), çalışmasında, eğilme etkisi altında sehim sertleşmesi gösteren, yüksek dayanımlı tekli, ikili, üçlü ve dördü lif hibridizasyonu katkılı kendiliğinden yerleşen beton karışımından 24 adet numune üretmiştir. Üretilen bu betonda lif etkilerinin araştırılması amacıyla farklı tipteki çelik ve sentetik liflerden makro veya mikro boyut ve narinliğe sahip dört adet lif kullanılmıştır. Elde edilen bu karışımların işlenebilirlik özelliklerinin yanı sıra, karışımlara ait numunelerin basınç mukavemeti, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, eğilme mukavemeti ve durabilitesini belirlemek için gerekli kılcal su emme, kısıtlanmış rötre, donma-çözülme, basınçlı su geçirimsizlik özellikleri de belirlenmiştir. Sonuçta lifli beton karışımlarına ait numunelerde 90 günlük en düşük yarmada çekme dayanım değeri, kaba agrega/toplam agrega oranı 0.25, kısa boyutlu mikro çelik lif içerikli ikili lif hibridizasyonuna sahip

numunelere ait olduğu görülmüştür. En yüksek 90 günlük yarmada çekme dayanım değeri ise makro çelik lif ile birlikte PVA mikro lifi içeren ikili lif hibridizasyonu içeren karışımına sahip numunede görülmüştür. Lifli beton numunelerde en düşük basınç dayanım değeri sadece makro çelik lif katkılı beton numunelerinde gözlenirken, en düşük nihai basınç dayanımı değeri ise makro çelik lif ile PVA lif katkılı beton numunesine ait numunelerde görülmüştür. Donma-çözülme çevrimine maruz liffsiz beton numunelerde lif içeren beton numunelerine göre yüzeylerinde dökülmeler olduğu gözlemlenmiştir.

Dünder ve ark.(2020), çalışmalarında farklı lif çeşitleri kullanarak üretimi yapılan beton numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştirler. Betonların üretiminde s/ç oranı 0.55 ve çimento miktarı ise 300 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Lif çeşitleri bazalt ve karbon olup betona katkı olarak hacimce %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında eklenmiştir. Basınç dayanımı $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ 'lik küp numunelere, eğilme dayanım testi ise $100 \times 100 \times 350 \text{ mm}$ 'lik kiriş numunelere uygulanmıştır. USH (m/sn) değerleri bazalt lifi kullanılan beton numunelerin karbon lifi kullanılan beton numunelere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Mekanik dayanımlarda (basınç dayanımı ve eğilme dayanımı) bazalt lifinin karbon lifinden daha iyi direnç gösterdiği görülmüştür.

Alsaif ve ark., (2019) çelik lif ve kauçuk parçacık takviyeli esnek kaplama betonların donma-çözülme performanslarını incelemişlerdir. Çalışmanın bütün numunelerinde 40 kg/m^3 çelik lif kullanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında tüm numunelerin önemli bir hasar görmeden 56 donma-çözülme çevrimine kadar başarıyla dayandığı gözlenmiştir.

Ranjbar ve ark., (2020) kanca uçlu Dramix marka çelik liflerin betona katkısıyla betonun mekanik özelliklerinin değişimini araştırmıştır. Üretilen beton numunelere dört noktalı eğilme dayanımı, çekme dayanımı ve basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. Sonuçlara göre çelik lif takviyesi betonun, çekme mukavemetini artırdığı ve lif hacmi arttıkça çekme mukavemetinde artış olduğunu göstermiştir. Eğilme mukavemetinin genel olarak betonda kullanılan çelik liflerden kaynaklı arttığı görülmüştür.

Dong ve ark., (2021) polietilen ve çelik lif içeren 5 farklı beton karışımı hazırlamışlardır. Üretilen bütün beton numuneleri 250 donma- çözülme çevrimine tabii tutulmuştur. Ardından bu beton numunelere yarmada çekme dayanımı, eğilme

dayanımı, kırılma enerjisi testleri uygulanmıştır. Sonuçlar donma-çözülme döngülerinin dayanım üzerinde minimum etkiye sahip olduğunu ancak lif/matris ara yüzey bağı bozduğunu göstermiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

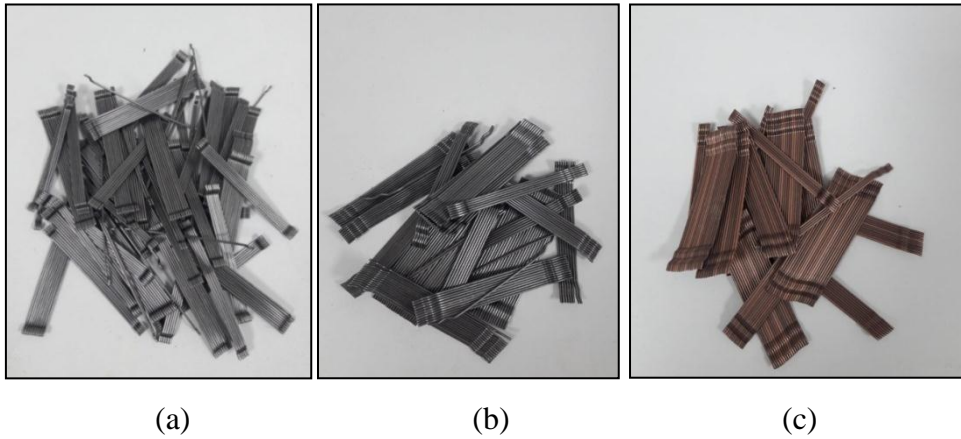
Bu bölümde, tez çalışması kapsamında kullanılan malzemeler ve yöntemler anlatılmıştır.

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında üretilen beton karışımında kullanılan malzemeler bu bölümde detaylıca anlatılmıştır.

3.1.1. Çelik lifler

Çalışmada kullanılan lifler, yurt dışından ithal edilen “Dramix” markalı 3D,4D ve 5D çelik liflerdir. Liflerin ortak özelliği, uçlarından kancalı olması, aynı narinlikte, aynı boyda ve aynı normal çekme dayanımına sahip olmaları iken 3D modelinde çekme dayanımı 1160 MPa, 4D modelinde, 1500 MPa ve 5D modelinde ise 2300 MPa’dır. Bu çelik lifler suda çözünen tutkal ile birbirlerine bağlı şekilde durmaktadır (Gündüz ve ark., 2015). Beton karışımlarında kullanılan çelik liflerin görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir. Çelik lifler ait fiziksel ve mekanik özellikleri ise Çizelge 3.1’de detaylandırılmıştır.



Şekil 3.1. (a) 3D çelik lif, (b) 4D çelik lif, (c) 5D çelik lif.

3D Çelik Lif: Düşük maliyetli fakat yüksek performans sergilediğinden dolayı en ideal lif türüdür. Bunlara ek olarak kullanım kolaylığı yararını da sağlamaktadır. Bu avantajlarından dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

4D Çelik Lif: Optimum çekme dayanımı ve ankraj özelliğine sahiptir. Çatlak boyutu 0.1- 0.3 mm arasındaki çatlakları engellemek için üretilmekte olan liflerdir.

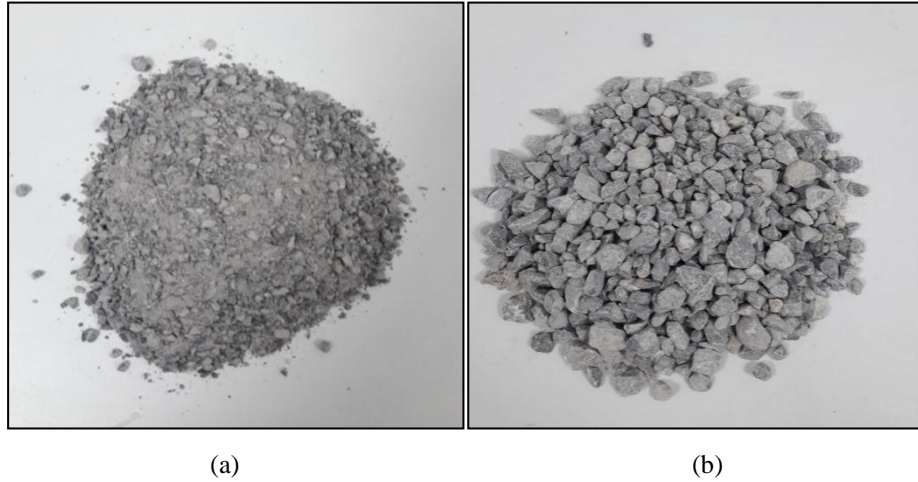
5D Çelik Lif: Nihai ankraj, üstün yüksek çekme dayanımına sahip liflerdir. Sünekliliği çok yüksek lif türüdür.

Çizelge 3. 1. Çelik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Lif Tipi	Uzunlu k(mm)	Çap (mm)	Narinlik (Uzunluk/Çap)	Çekme Dayanımı (MPa)	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü (GPa)
3D	60	0.90	65	1160	7.8	210
4D	60	0.90	65	1500	7.8	210
5D	60	0.90	65	2300	7.8	210

3.1.2. Agregalar

Çalışmada üretilen beton karışımlarının hepsinde, 0-5mm ve 5-12 mm boyutlarında kırma kireçtaşı agregasından belirli oranlarda kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olup bu agregalara ait görüntü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. 0-5 mm (ince agregalar) (a) 5-12 mm (kaba agregalar)(b).

3.1.3. Çimento

Çalışma kapsamında üretilen beton karışımlarında bağlayıcı olarak kullanılan çimento Van Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R portland çimentosudur. Çimento TS EN 197-1 standardına uygundur. Deneysel çalışmada kullanılan çimentoya ait görsel Şekil 3.3’de, çimentonun kimyasal içeriği ise Çizelge 3.2’ de ve kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri ise Çizelge 3.3.’te verilmiştir.



Şekil 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan çimentoya ait görsel.

Çizelge 3. 2. Çalışmada kullanılan çimentoya ait kimyasal bileşim

Kimyasal İçerik (%)	Çimento
SiO ₂	16.83
Al ₂ O ₃	41.72
Fe ₂ O ₃	2.47
CaO	63.14
MgO	3.2
TiO ₂	0.02
K ₂ O	0.52
Na ₂ O	0.31
Kızdırma kaybı	1.27

Çizelge 3. 3. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

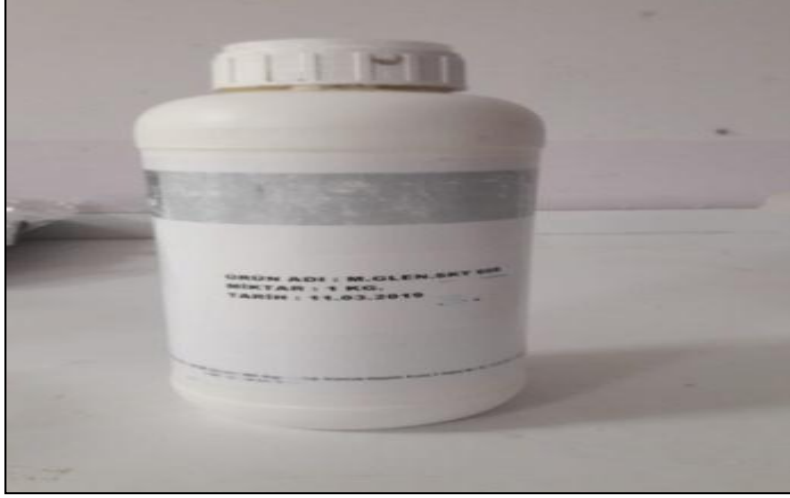
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.17
Yüzey Alanı (cm ² /g)	3984
Priz başlangıç süresi (dk)	160
Priz bitiş süresi (dk)	230
Mekanik Özellikler	
2 günlük Basınç Dayanımı	22.5
7 günlük Basınç Dayanımı	41.5
28 günlük Basınç Dayanımı	52.2

3.1.4. Su

Çalışmada kullanılan su hem beton karışımlarında hem de 24 saat boyunca laboratuvar şartlarında bekletilmiş beton numunelerinin 28 gün boyunca bırakıldığı kür havuzunda, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesinin şebeke suyudur. Bu su TS EN 1247 standartlarına uygundur (TS EN 1247).

3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı

Beton karışımları hazırlanırken işlenebilirliği arttırmak ve su ihtiyacını azaltmak amacıyla TS EN 934-2 standardına uygun olan Master Glenium SKY 608, polikarboksilik eter esaslı, süper akışkanlaştırıcı katkısı kullanılmıştır. Diğer polikarboksilik eter esaslı süper akışkanlaştırıcılarla karşılaştırıldığında, priz süresinde gecikme olmadan yüksek işlenebilirliğe sahip kaliteli bir beton elde etmek için kullanılan kimyasal bir katkıdır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcıya ait görsel Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Beton karışımında kullanılan süper akışkanlaştırıcı.

3.2. Beton Karışımlarının Hazırlanması

Beton reçetesi TS 802'ye uygun olacak şekilde belirlenip tasarlanmıştır. Beton karışımları 25 dm³ hacimli pan tipi mikserde hazırlanmıştır. Beton reçetesi hedef dayanımı 40 MPa göre hazırlanmıştır. Bütün karışımların su/çimento oranı 0,46'dır. Beton karışımında 3D, 4D ve 5D çelik liflerin her birinden çimento hacminin %0, %0.5 ve %1.5 oranında beton karışımına katılmıştır. Beton karışımına eklenen çelik liflerin oranı arttıkça bilindiği üzere işlenebilirlik azalacağından artan lif oranına paralel olarak süper akışkanlaştırıcı %0, %0.5 ve %1.0 oranlarında betona katılmıştır. Beton karışımı hazırlanan reçeteye uygun olarak yapılmıştır. Yapım aşamasına ilk olarak 0-5mm ve 5-12 mm dane çapına sahip kireçtaşı agregası ve çimento ile başlanmıştır. Bu malzemelerin karıştırılma işlemi kuru olarak pan mikserde 2 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Ardından kuru karışıma belirlenen miktar veya oranlarda su ve süper akışkanlaştırıcı ilavesi yapıp karıştırma işlemine 3 dakika daha devam edilmiştir. En son aşamada karışıma 3D, 4D ve 5D çelik lifler ilave edilip karıştırma işlemi 3 dakika daha devam edilip sonlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan beton karışımındaki malzemelerin detayları Çizelge 3.4'de ayrıca verilmiştir.

Çizelge 3. 4. Beton karışımındaki malzeme miktarları

Karışım	Su/Çimento	Çimento (g)	Agrega (g) 0-5 mm	Agrega (g) 5-12 mm	Lif (%)	Su (g)	SA(%)
Kontrol	0.46	380	1040	1350	0	175	-
3D-0.5	0.46	380	1040	1350	0.5	175	0.5
3D-1.5	0.46	380	1040	1350	1.5	175	1.0
4D-0.5	0.46	380	1040	1350	0.5	175	0.5
4D-1.5	0.46	380	1040	1350	1.5	175	1.5
5D-0.5	0.46	380	1040	1350	0.5	175	0.5
5D-1.5	0.46	380	1040	1350	1.5	175	1.0

Beton karışım işlemlerinin ardından hazırlanan her bir beton karışımının ilk olarak işlenebilirlik özellikleri çökme yayılma testi ile belirlenmiştir. Daha sonra, beton karışımlarının sertleşmiş haldeki özelliklerini belirlemek amacıyla taze betonlar kalıplara doldurulmuştur. Beton karışımlarının önceden yağlanmış kalıplara yerleşimi sonrası numuneler 24 saat boyunca laboratuvar şartlarına bırakılmıştır. 24 saat sonunda sertleşmiş beton numuneleri kalıplardan çıkartılıp kür havuzuna bırakılmıştır. Bu numuneler kür havuzundan 28 günün sonunda çıkartılmıştır. Sertleşmiş haldeki betonların hem oda koşulları hem de 100 d-ç çevrimi için 9 adet 100x100x100 mm küp numuneye ultrases geçiş hızı tayini ve basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Eğilme dayanımı testi ise 100x100x400 mm'lik 3'er adet kiriş numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Beton numunelerinin üretim aşamaları.

3.3. Yöntem

Bu tez çalışmasında 3D, 4D ve 5D çelik lif katkılı taze betona çökme yayılma testi uygulanmıştır. Ardından sertleşmiş betonun oda koşullarında ve 100 donma-çözülme çevrimi sonrası ultrases geçiş hızı (UHS), basınç ve eğilme dayanım özellikleri belirlenmiştir.

3.3.1. Çökme yayılma testi

Çökme testi için şişleme çubuğu, çökme konisi, başlık, metal taban, plastik tokmak, metal kürek ve çelik metre gereklidir. Bu aletler testten önce temizlenmiştir. Öncelikle metal taban düzgün bir zemine yerleştirilip, koni sabit bir şekilde tutulmuştur. Koninin 1/3'ü taze betonla doldurduktan sonra 25 defa şişleme yapılmıştır. Aynı işlem 2 katman için daha tekrarlanır. Koninin ağzındaki beton düzlendikten sonra koni düz bir şekilde ve yavaşça yukarı doğru çekilip, çekilen huni kalıptan çıkan betonun yanına koyularak çelik metre yardımıyla çökme miktarı ölçülmüştür. Bu test TS EN 12350-2 standartlarına uygun bir şekilde yapılmıştır.

3.3.2. Donma-çözülme testi

Üretilen 3D, 4D ve 5D çelik lif katkılı beton numunelerinin donma-çözülme çevrimleri sonrası mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri belirlemek amacıyla, numunelere ASTM C666 standardında belirtilen esaslar doğrultusunda donma-çözülme testi uygulanmıştır (ASTM C666,1999). Numuneler -20°C 'de 12 saat boyunca donma ve $+20^{\circ}\text{C}$ 'de 12 saat boyunca çözülmeye maruz bırakılmıştır. Bu işlem donma çözülme test kabini içinde otomatik olarak gerçekleşmiştir. Bu işlem sonrası, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımındaki farkları belirlemek için oda koşullarında bulunan bir grup numune donma çözülmeye maruz kalan bu numuneler ile karşılaştırılmıştır. Donma çözülme testlerin yapıldığı kabin Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Donma- çözülme test kabini.

3.3.3. Ultrases geçiş hızı

Bilindiği gibi titreşim frekansı 20 Khz' den fazla olan ses dalgaları ultrases olarak ifade edilmektedir. Malzeme testinde kullanılan ultrases, pizzo-elektrik metodu ile elde edilmektedir. Bu yöntem tahribatsız bir testtir. USH testi 100x100x100 mm'lik kp beton numunelerine uygulanmıştır. Bu hız tayini 54 Kh'lik alıcısı ve iki adet prob başlığı olan Şekil 3.6'da gösterilen cihazla yapılmaktadır. Kp beton numunesinin bir ucuna ultrases üreten prob, diğer ucuna da bu sesleri toplayan prob altına gress sürülerek yerleştirilir. Ultrases dalgaları demetler halinde alıcı proba gönderilir.

Ultrasonik deney metodu beton dayanımlarıyla korelasyon kurulabilmesi için kullanılmakla birlikte gönderilen titreşim sayesinde dayanıklılık, yüzey kırılığı derinliği, elastisite modülü, betonun homojenliği gibi parametrelerin belirlenmesi açısından da basit bir yöntemdir. Deneylerde, ultra ses geçiş hızı lmleri Pundit marka bir cihaz ile llmştr. Ultrases geçiş hızı tayini ASTM C597–09. (2009) standardına uygun bir Şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.7. Ultrases geçiş hızı tayini cihazı.

3.3.4. Basınç dayanımı testi

Sertleşmiş 28 günlük beton numunelerine TS EN 12390-3 standardına uygun olarak, Şekil 3.7'de gösterilen servo kontrollü cihaz ile basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Her numunede aynı yükleme hızı ile yükleme yapılmıştır. Boyutları 100x100x100 mm olan kontrol ve elik lifli beton kp numunelere 28 günlük basınç dayanımı tayini için test uygulanmıştır. Her lif çeşidi ve miktarından içeren beton

numuneler üçerli gruplar halinde kırılarak, bulunan basınç dayanım değerlerinin ortalamaları alınmıştır.

Basınç dayanım değeri $F_c = P/A$ bağıntısı ile hesap edilmektedir.

Burada;

F_c = Karakteristik basınç dayanımı (MPa),

P = Kırılma anındaki uygulanan yük (Newton)

A = Kesit alanı (mm^2)



Şekil 3.8. Basınç dayanım cihazında küp numune kırımı.

3.3.5. Eğilme dayanım testi

Sertleşmiş beton numunelerinin eğilme dayanımı tayininde TS EN 12390-5 standardı kullanılmış ve testler sırasında $100 \times 100 \times 400$ mm boyutlarındaki kiriş numuneler kullanılmıştır. Her lif çeşidi ve miktarından içeren beton numuneleri gruplandırılmıştır. Bu kiriş numuneleri dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. İşlem tamamlandıktan sonra üçerli gruplar halinde olan kiriş numunelerinin elde edilen eğilme dayanım değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Eğilme dayanım cihazı Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Eğilme dayanımı test cihazı.

Her üç numune gruplandırılıp eğilme dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır. Eğilme dayanımı aşağıdaki “Eş 3.1” ile hesaplanmaktadır.

$$f_{cf} = F \times L / b \times h^2 \quad (3.1.)$$

Burada;

f_{cf} = Eğilme dayanımı (MPa)

F= En büyük kuvvet (N)

L= Mesnetler arasındaki açıklık (mm)

b= Numunenin eni (mm)

h= Numunenin boyu (mm)



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında üretilen kontrol betonu, 3D, 4D ve 5D çelik lif katkıli betonların donma çözülme sonrası ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanım özelliklerindeki değişiklikleri belirlemek amacıyla tüm numuneler 100 donma-çözülme çevrimine tabii tutulmuştur. Bu bölümde bu test sonuçları yorumlanıp tartışılmıştır.

4.1. Çökme Yayılma Test Sonuçları

Çizelge 4. 1. Beton karışımlarının çökme yayılma değerleri

Karışım	Çökme değeri (mm)
Kontrol	121
3D-0.5	116
3D-1.5	86
4D-0.5	114
4D-1.5	85
5D-0.5	112
5D-1.5	83

Çökme yayılma sonuç değerlerine bakıldığında 3D, 4D ve 5D çelik liflerin katkısıyla beton kıvamında çok ciddi bir değişiklik olmamıştır.

4.2. Ultra Ses Geçiş Hızı Deney Sonuçları

Kontrol betonu başta olmak üzere, 3D, 4D ve 5D çelik lif katkıli toplamda 7 beton karışımı üretilmiştir. Bu beton numunelerden 100x100x100 mm'lik küp numunelere ait ultra ses geçiş hızı (USH) değerleri Çizelge 4.2'de ve USH değerlerinin grafiğe dökülmüş hali ise Şekil 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1 incelendiğinde en yüksek USH (m/sn)' ye sahip numunenin 3289 m/sn ile donma-çözülme işlemine tabii tutulmamış hacimce %1.5 oranında 5D çelik lif katkıli numunelere ait olduğu görülmektedir. Bütün beton numunelerinden 100 donma-çözülme çevrimine maruz kalıp en düşük ultrases geçiş hızı değerinin sahibi 2630 m/sn ile kontrol betonu olmuştur. 5D-1.5 kodlu beton numunesi ise 3089 m/sn'lik en yüksek ultrases geçiş hızı değerine sahip numunedir. 5D-1.5 kodlu numunelerin kontrol

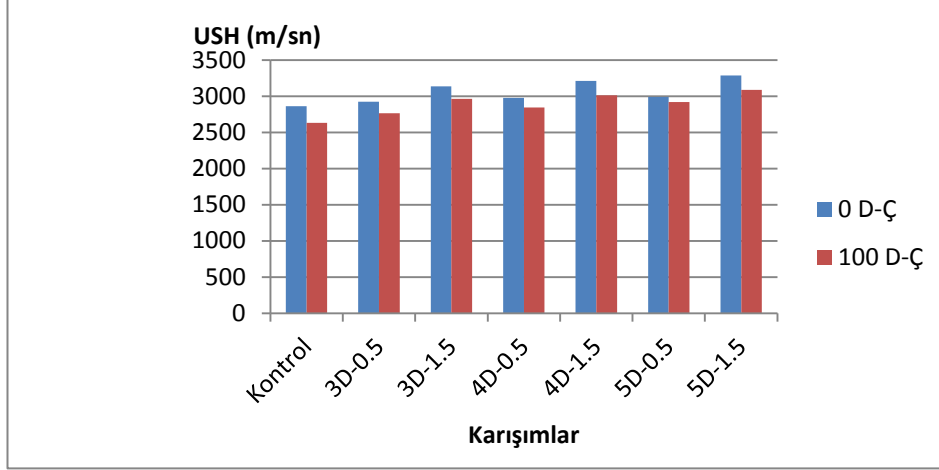
numunesine göre 100 donma-çözülme çevrimi sonrası ultrases geçiş hızı (m/sn) değerlerinde %25'lik bir artışın olduğu görülmüştür.

Oda koşullarında bulunan bütün numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri 100 donma-çözülme maruz kalan bütün numunelerin USH değerleri daha yüksektir. Bunun nedeni donma çözülme maruz kalan betonlarda boşluk miktarının artmasıyla USH(m/sn) azalmasıdır. Çelik lif oranının kontrol numunesine göre artmasıyla ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı görülmüştür. Çelik lif katkısıyla birlikte daha yüksek ultrases geçiş hızı değerlerinin ortaya çıkmasının sebebi betonda boşluk miktarının azalmasıdır (Dündar ve ark.,2020). Bu durumda Çizelge 4.2. incelendiğinde 100 donma-çözülme maruz kalan numunelerde boşluk oranının arttığı söylenebilir.

Numunelerin bırakıldığı her iki ortam içinde Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1 incelendiğinde numunelere katılan lif miktarı arttıkça USH (m/sn) değerinin arttığı görülmüştür. Bu durum çelik liflerin beton içerisindeki boşluğu azalttığı kanısını güçlendirmiş olur (Dündar ve ark.,2020).

Çizelge 4. 2. Beton numunelerine ait USH (m/sn) değerleri

Karışım	USH (m/sn)		Azalış (%)
	0 D-Ç	100 D-Ç	
Kontrol	2860	2630	-8.04
3D-0.5	2923	2765	-5.41
3D-1.5	3136	2965	-5.45
4D-0.5	2976	2845	-4.40
4D-1.5	3211	3012	-6.20
5D-0.5	2989	2920	-2.31
5D-1.5	3289	3089	-6.08



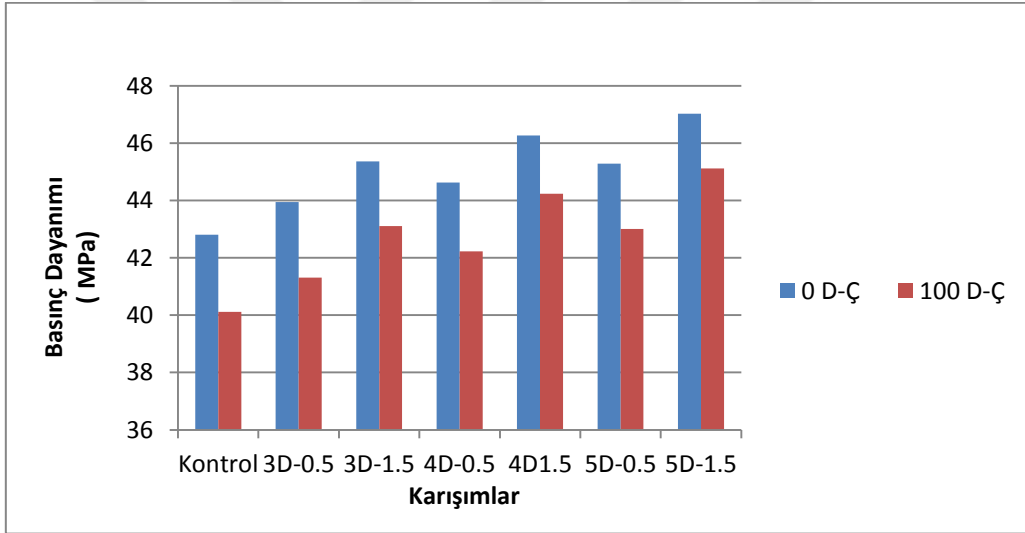
Şekil 4.1. Beton numunelerine ait USH (m/sn) değerleri.

4.3. Basınç Dayanım Test Sonuçları

Çalışma kapsamında kontrol betonu, 3D, 4D ve 5D çelik lif katkıli 100x100x100 mm'lik boyutlarındaki küp beton numunelerin 28 günlük standart basınç dayanım değerleri Çizelge 4.3'de grafiği ise Şekil 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.3. ve Şekil 4.2. incelendiğinde kontrol betonuna kıyasla 100 d-ç çevrimine maruz kalıp 45.12 MPa'lık değer ile en yüksek basınç dayanımına sahip hacimce % 1.5 oranında 5D çelik lif katkıli beton numunesi olmuştur. Kontrol betonuna kıyasla en düşük basınç dayanımını ise 43.94 MPa ile hacimce %0.5, 3D çelik lif katkıli beton numunesi sergilemiştir. Lif katkıli betonlar kontrol betonu ile kıyaslandığında 5D çelik lif katkıli betonun basınç dayanımı kontrol betonuna göre oda koşullarında yaklaşık olarak %10 artış sağlarken 100 D-Ç çevrimine maruz kalmış betonlarda ise bu artış %12.5'i bulmuştur. Bunun sebebi 5D çelik lif katkıli betonun kontrol betonuna kıyasla 100 D-Ç çevrimine karşı daha fazla basınç dayanımı sağlamasıdır. Bu deneysel çalışmada kullanılan her üç çeşit lif göz önüne alındığında en yüksek basınç dayanımlarını veren oran hacimce %1.5 lif içerikli numuneler olmuştur. Basınç dayanımındaki bu artışların kontrol betonuna kıyasla lif içeren numunelerin beklenildiği gibi çok fazla olmadığı görülmüştür (Gündüz ve ark., 2016; Taşkan, 2017). Literatürde betona %1.5 oranında çelik lif katkısının basınç dayanımını lifsiz betona kıyasla ± 25 'e kadar değiştirebileceği bildirilmiştir (Yazıcı, 2017).

Çizelge 4. 3. Üretilen betonlara ait basınç dayanım deney sonuçları

Karışım	Basınç dayanımı		Azalış (%)
	(MPa)	(MPa)	
	0 D-Ç	100 D-Ç	
Kontrol	42.81	40.11	-6.31
3D-0.5	43.94	41.31	-5.99
3D-1.5	45.63	43.11	-4.96
4D-0.5	44.63	42.23	-5.38
4D-1.5	46.27	44.24	-4.39
5D-0.5	45.28	43.01	-5.01
5D-1.5	47.03	45.12	-4.06



Şekil 4.2. Beton numunelerine ait basınç dayanımı değerleri.

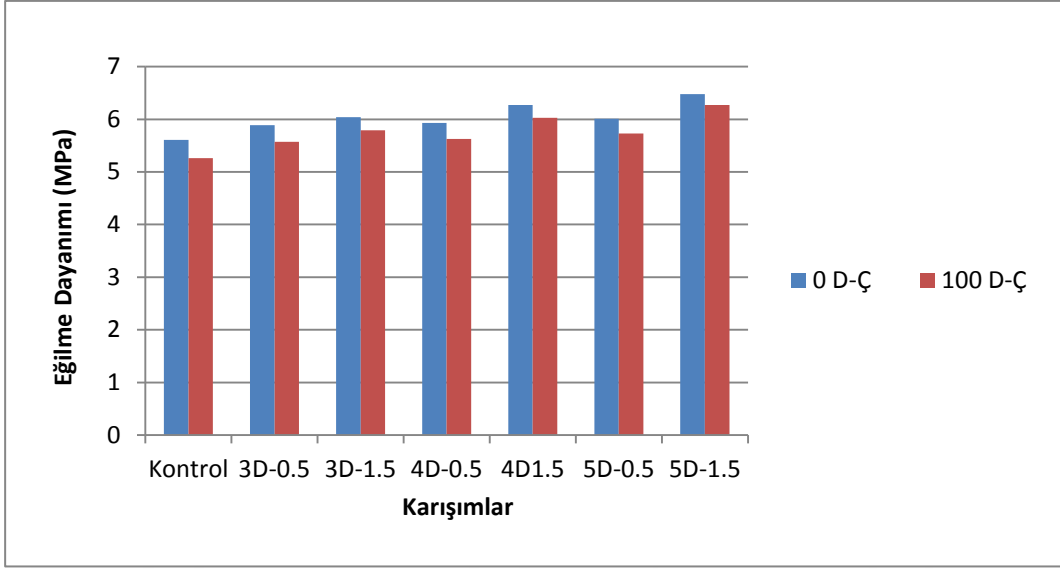
4.4. Eğilme Dayanımı Test Sonuçları

Deneysel çalışmanın eğilme dayanım sonuçları Çizelge 4.4.'te ve Şekil 4.3.'te detaylı olarak verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde hem oda koşullarında hem de 100 D-Ç çevrimine maruz bırakılan numunelerden sırasıyla 6.48 MPa ve 6.27 MPa'lık değerler ile en yüksek dayanımı sergileyen numunelerin hacimce %1.5 oranında, 5D çelik lif katkıli numuneler olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şartlarda en düşük eğilme dayanımı sergileyen numuneler ise sırasıyla 5.89 MPa ve 5.57 MPa'lık değerler ile hacimce %0.5 oranında, 3D çelik lif katkıli numuneler olmuştur. 100 d-ç çevriminden sonra kontrol

numunelerine kıyasla %19.2'lik en fazla eğilme dayanımı artışı gösteren numune 5D-1.5 kodlu numune olmuştur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında bütün beton serilerinde de oda koşullarına kıyasla 100 D-Ç çevrimine maruz kalan numunelerin eğilme dayanımında azalmalar olduğu görülmüştür. Lifi betona katkı olarak kullanmanın amacı, özellikle betonun eğilme mukavemetini arttırmaktır. Çalışma sonucunda eğilme mukavemet değerleri incelendiğinde lif katkısı ile eğilme mukavemetlerinde artış gözlemlenmiştir (Dündar ve ark.,2020). Eğilme dayanımının çelik lif katkısına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir (Düğenci, 2008; Dündar ve ark., 2020; Kızılırmak ve ark., 2019). Çelik lifin ucundaki kanca sayısı arttıkça eğilme dayanımı da artmaktadır (Kızılırmak ve ark.,2019; Gündüz ve ark., 2016).

Çizelge 4. 4. Betonlara ait eğilme dayanımı deney sonuçları

Karışım	Eğilme dayanımı		Azalış (%)
	(MPa)		
	0 D-Ç	100 D-Ç	
Kontrol	5.61	5.26	-6.24
3D-0.5	5.89	5.57	-5.43
3D-1.5	6.04	5.79	-4.14
4D-0.5	5.93	5.63	-5.06
4D-1.5	6.27	6.03	-3.83
5D-0.5	6.01	5.73	-4.66
5D-1.5	6.48	6.27	-3.24



Şekil 4.3. Beton numunelere ait eğilme dayanımı değerleri.

5.SONUÇLAR

- Her üç çelik lif türünde de işlenebilirlik çok ciddi değişmemiştir. Yalnızca 5D-1.5 kodlu numunenin işlenebilirliği beklenildiği gibi en az çıkmıştır.
- USH (m/sn) testinde oda koşullarındaki numuneler daha iyi sonuç göstermiş olsa da 100 D-Ç çevrimine maruz kalan numunelerden 5D çelik lif katkılı ve hacimce çelik lif oranı % 1.5 olan numuneler en iyi performansı sergilemiştir.
- Betona katılan çelik lif yüzdesi göz önünde bulundurulduğunda 100 D-Ç çevrimine maruz kalıp USH (m/sn) testine tabi tutulan tüm numunelerden en iyi sonucu veren 3D-1.5, 4D-1.5 ve 5D-1.5 kodlu numuneler olmuştur.
- Betona katılan lif miktarı arttıkça USH (m/sn)'nin arttığı görülmüştür. Bu durumda kullanılan çelik liflerin beton içerisindeki boşluğu azalttığı söylenebilir.
- Genel olarak USH (m/sn) değerlerine bakıldığında 100 D-Ç çevrimine maruz kalan numunelerin boşluk oranının oda koşullarında bulunan numunelere göre arttığı söylenebilir.
- Oda koşullarında bulunan beton numunelerine bakıldığında kontrol betonuna kıyasla lif içeriği arttıkça basınç dayanımı artmıştır.
- 100 D-Ç çevrimine maruz kalan numunelerin basınç dayanımına bakıldığında ise, yine lif içeriği arttıkça basınç dayanımı artmıştır.
- Oda koşullarında bulunan numunelerin basınç dayanımı, 100 D-Ç çevrimine maruz kalan numunelerin basınç dayanımından daha fazladır.
- Basınç dayanımı için belirlenen optimum çelik lif içeriği %1.5 olmuştur.
- Genel olarak çelik liflerin basınç dayanımında kayda değer bir artış sağlamadığı görülmüştür.
- Oda koşullarında bulunan numunelerin eğilme dayanımına bakıldığında ise en iyi sonucu veren 5D-1.5 kodlu numune olduğu görülmüştür.
- 100 D-Ç çevrimine maruz kalan numunelerin eğilme dayanımına bakıldığında ise yine en iyi performansı 5D-1.5 kodlu numunenin gösterdiği görülmüştür.
- Tüm lif çeşitleri arasında kıyaslama yapılırsa gerek USH (m/sn) değerleri bakımından gerek basınç dayanımı açısından gerekse eğilme dayanımı açısından

hem oda koşullarında hem de 100 D-Ç çevrimine maruz kaldıkları halde en iyi performansı sergileyen lif çeşidi 5D tipi çelik lif olmuştur.

- Gerek oda koşullarında bulunan numuneler gerekse 100 D-Ç çevrimine maruz kalan numuneler kendi aralarında kıyaslandığında kullanılan çelik lifin, ucundaki kanca sayısı arttıkça betonun performansı artmıştır.



KAYNAKLAR

- Abdallah, S., Rees, D. W. A., Ghaffer S. H., Fan, M., 2018. Under Standing The Effects Of Hooked-End Steel Fibre Geometry On The Uniaxial Tensile Behaviour Of Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, **178**: 484-494.
- Akcay, B., Taşdemir, M. A., 2012. Mechanical Behaviour And Fibre Dispersion Of Hybrid Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, **28**: 287-293
- Aktaş, B., 2007. *Çelik Lifli Hafif Beton İle İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Alparslan, U., 2015. *Çelik Lif Uç Geometrisinin Beton Özelliklerine Etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altun, F., Aktaş, B., 2013. Investigation Of Reinforced Concrete Beams Behavior Of Steel Fiber Added Light Weight Concrete. *Construction and Building Materials*, **38**: 575-581.
- Aral, M. (2006). *Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.
- ASTM C597-09, 2009. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, American Society of Testing Materials.
- ASTM A 820, 1996. Standart Specification for Steel Fibers for Fiber Reinforced Concrete, The American Society for Testing and Materials, USA.
- Avcil, F. (2019). *Çevrimsel Yükleme Etkisi Altında Betonarme Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Davranışına Çelik Lif Katkısının Etkisi/The effect of steel fibers on the behavior of reinforced concrete beam-column joints under reversed cyclic loading* (Doctoral dissertation).
- Aydeniz, S., 2012. *Agrega Dane Boyutunun Beton Dayanımına Etkisi Ve Su Emmesine Etkilerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bahadır, B., 2007. *Liflerin Beton Kırılma Tokluğuna Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Baradan, B., Aydın, S., 2013. Betonun Dürabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). *Hazır Beton Kongresi*, Kasım- Aralık 2013, İzmir.
- Bekem, İ., Gültekin, B. A., Dikmen, B. Ç., 2009. Yapı Ürünlerinin “Hizmet Ömrü” Açısından İrdelenmesi: Betonarme Örneği. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Bentur, A. ve Mindess, S., 2007. Fibre Reinforced Cementitious Composites, *2nd Edition Taylor&Francis Group*.
- Biber, S.A., 2001. *Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı*, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Cement&Concrete Institute, 2010. Fibre Reinforced Concrete, *Cement&Concrete Institute*, Midrand.
- Chawla K.K. (1998). *Fibrous Materials*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Çakır, C., 2013. *Makrosentetik ve Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışı*(Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Çiçek, N., 2021. *Karma Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonun Elektriksel Özdirenci Üzerinde Lif Kombinasyonu, Lif Hacmi ve Mikro Lif Boyunun Etkisi*(Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Çamkerten, M. Püskürtme Betonda Bazalt Lif Kullanımının Değerlendirilmesi. *MT Bilimsel*, (17), 1-10.
- Deng, Z., Shi, F., Yin, S., Tuladhar, R., 2016. Characterisation of Macro Polyolefin Fibre Reinforcement in Concrete Throughround Determinate Panel Test. *Construction and Building Materials*, **121**: 229-235.
- Düğenci, O., 2008. *Çelik Lifli Betonların Bazı Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Deneysel Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Dündar, B., Çınar E., Peşin, S., 2020. Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **10** (4): 1039-1048.
- Düzgün, O. A., 2001, *Çelik Lifler ile Üretilen Hafif Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırması*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ekincioglu, Ö., 2003. *Karma Lif içeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı - Bir Optimum Tasarım* (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ersoy, H.Y., 2001. *Kompozit Malzeme*, Literatür Yayınları, 66, İstanbul.
- Gao, D., Ding, C., Pang, Y., Huang, Y.,Tang, J., 2021. Diverse Angle-Length-Width Model For 3d/4d/5d Steel Fiber Reinforced Concrete Under Tension. *Construction and Building Materials*, **266**.
- Gökçer, B., Yıldız, S., & Keleştemur, O. (2013). Atık Mermer Tozu ve Cam Lif İçeren Harç Numunelerinin Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Davranışları. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, **5**(3):18-30.
- Güler, S., 2018. The Effect Of Polyamide Fibers On The Strength And Toughness Properties Of Structural Light Weight Aggregate Concrete. *Construction and Bulding Materials*, **173**: 394-402.
- Gündüz, Y.,Taşkan, E., Şahin, Y.,2016. Using Hooked-Endfibres On High Performance Steel Fibre Reinforced Concrete. *Proceedings of the 2 International Conference on and High Performance and Optimum Design of Structures and Materials*. **166**.
- Gündüz, Y.,Taşkan, E., Köksal, E., Şahin, Y., 2018. Farklı Kanca Tipine Sahip Çelik Tel Donatılı Betonların Özellikleri Ve Optimum Tasarımı. *Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi*. Mayıs-Haziran 2018, İstanbul.
- Hannant, D.J., 2003. *Advanced Concrete Technology*, Elsevier Ltd.
- Hamzaçebi, D., 2015. *Atık Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Holschemacher, K., Mueller, T., Ribakov, Y., 2010. Effect Of Steel Fibres On Mechanical Properties Of High-Strength Concrete. *Materials and Design*, **31**(5): 2604-2615.
- Kakar, M. N., 2019. *Bazalt Elyafının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanabilirliğinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Karahan, O., Atiş, D. C., 2010. The Durability Properties Of Polypropylene Fiber Reinforced Fly Ash Concrete. *Materials and Design*. **32**(2011): 1044-1049.

- Karihaloo, B. L., De Vriese, K. M. B., 1999. Short-Fibre Reinforced Reactive Powder Concrete. *3rd International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPF RCC3)*, Mainz, Germany. 53-63.
- Kına, C., 2019. *Yüksek Performanslı Kendiliğinden Yerleşen Karma Lifli Beton Geliştirilmesi* (Doktora Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Kızıllırmak, C., Aydın, S., Yardımcı, M. Y., 2019. Effect Of The Steel Fibre Hook Geometry On The Flexural Properties Of High Strength Steel Fibre Reinforced Concretes Under Static And Impact Loading. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **34**: 1609-1627.
- Kızıllılgın, B., 2009. *Çelik Ve Karbon Lifli Harçların Sülfat Etkilerine Dayanıklılığının İncelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kozak, M., 2010. *Beton Travers Üretiminde Agregası Türü (Bazalt-Kalker) ve Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Kozak, M., 2013. Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, **3(5)**: 26-35.
- Küçük, B. (2000). BETONUN DAYANIM VE DURABİLİTESİNİ SAĞLAYAN PARAMETRELER. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **6(1)**, 79-85.
- Nis, A., 2017. *Mechanical And Rheological Properties Of Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete* (Doktora Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Özdoğan, M. V., 2009. *Yeraltı Yapılarında Püskürtme Beton ve Dolgu Dizaynı* (Doctorel Dissertation). DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Polat, H., Özel, C., 2013. Sülfat Etkisine Maruz Kolemanit Katkılı Betonların Donma Çözünme Sonrası Bazı Özelliklerinin Araştırılması. *SDU International Technologic Science*. **5(1)**: 94-103.2
- Ranjbar, H., Jadidi, A., Amerei, H., 2020. Evolution Of The Mechanical Properties And Cracking Pattern Of Cementitious Composites Reinforced With Hooked Steel Fibers. *Civil and Environmental Engineering*, **16**: 119-130.
- Sarı, M., 2013. *Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı.
- Shafaei, Y., Shaikh, F.U.A., Sarker P.K., 2017. Effect Of The Fibre Geometry On Pull-Out Behavior Of HVFA Mortar Containing Nanosilica, *Procedia Eng.*, **171**: 1535-1541.
- Song, P. S., Hwang, S., 2004. Mechanical Properties Of High-Strength Steel Fiber Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, **18(9)**: 669-673.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C., Kuruç, Ş., Sönmez R., 2003. Agregası Türünün Betonun Donma - Çözülme Dayanıklılığına Etkisi. *3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- Şimşek, O., 2004, *Beton ve Beton Teknolojisi*, Seçkin Yayıncılık, Ankara
- Taşkan, E., 2017. *Çelik Tel Kanca Tipinin Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Topçu, İ. B., Boğa, A. R., 2005. Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt XVIII, Sayı 2.

- Topçu, İ. B., 2006, “Beton Teknolojisi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt XVIII, Sayı 2.
- TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinde eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları, Türkiye, 2010.
- TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları, Türkiye, 2010.
- TS 10513, (1992). Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE CEN/TR 15177, 2006. Betonun Donma Çözülme Direncinin Tayini, Türk Standartları,
- Türkmenoğlu, F., Varol, O., O., 2016. Lifli Beton Türleri ve Kullanım Alanları. *Ist International Mediterranean Science and Engineering Congress*, 26-28 Ekim 2016, Adana. 3792-3795.
- Ünal, B., Köksal, F., Eyyubov, C., 2003. Polipropilen ve Çelik Liflerin Donma Çözülme Ve Aşınma Dirençlerine Ortak Etkisi. 5. *Ulusal Beton kongresi, Betonun Dayanıklılığı*. İstanbul, 345-354.
- Ünal, O., Uygunoğlu T., 2005. Farklı Ortamlarda Kür Edilmiş Lif Katkılı Betonların Deprem Yüğü Etkisi Altındaki Davranışının Araştırılması. *Deprem Sempozyumu*. 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Yalçın, M., 2009. *Çelik Lif Donatılı Betonların Performansa Dayalı Tasarımı ve Optimizasyonu* (Doktora Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yardımcı M. Y., 2007. *Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması Ve Optimum Tasarımı* (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Yazıcı, Ş., 2017. Çelik Lif Boyu Ve Kullanım Oranının Çelik Lifli Betonun Özelliklerine Etkisi. *Published In 5th International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science 29-30 September 2017*. Bakü, Azerbaycan.
- Yerlikaya, M., 1998. “Çelik Teller İle Donatılmış Beton Elemanların Düşey Yük Altında Davranışları”, *Hazır Beton Dergisi*, Eylül-Ekim, s. 72-73.
- Zeynal, E., 2008. *Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir.
- Zhang, P., Li, Q., Chen, Y., Shi, Y., Ling, Y. F., 2019. Durability of Steel Fiber-Reinforced Concrete Containing SiO₂ Nano-Particles. *Materials MDPI*,

ÖZ GEÇMİŞ

Dilan TURUNÇ ilk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladı. Lisans eğitimine 2015 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde başlayıp eğitimini 2020 yılında tamamlamıştır. Yine 2020 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 23/05 /2022

Tez Başlığı / Konusu: 3D, 4D ve 5D Çelik Lif Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Sonrası Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirtilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 41 sayfalık kısmına ilişkin, 23/05/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % (yüzde 13) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

23/05 /2022

Adı Soyadı: Dilan Turunç

Öğrenci No: 20910001009

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı:

Statüsü: Yüksek Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Soner GÜLER

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR