

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIRGAN OTU LİFİ KATKILI BETONUN FARKLI
KÜR KOŞULLARINDAKİ FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Mehmet DERE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Enstitü Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim GÜNEŞ

Haziran 2025
GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIRGAN OTU LİFİ KATKILI BETONUN FARKLI
KÜR KOŞULLARINDAKİ FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DERE

Enstitü Anabilim Dalı

:

İnşaat Mühendisliği

Bu tez 21/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi
Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI
Jüri Başkanı

Prof. Dr.
İbrahim GÜNEŞ
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Hayri Metin NUMANOĞLU
Üye

Prof. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Bu tez içinde yer alan tüm veriler akademik kurallar çerçevesinde tarafımca elde edildiğini, tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapılmadığını, başkalarının çalışmalarından faydalandığı durumlarda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, bu tezde yer alan verilerin herhangi bir üniversitede başka bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet DERE

17/06/2025

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim GÜNEŞ'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yaptığımız çalışmalar kapsamında numune elde edilmesi esnasında tüm yardımları için Korgan Beton firmasına, numunelerimizin testleri için her türlü imkânlarını sağlayan Kar-Be-Tek Laboratuvar firmasına ve desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Hayri Metin NUMANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, başta eşim Zeynep DERE olmak üzere eğitim hayatıma başladığımdan beri bana destek veren aileme yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezindeki maddi desteklerinden dolayı Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: FEN-BAP-C-110225-03) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Beton Hakkında Genel Bilgiler	4
2.2. Lifli Betonun Kısa Tarihçesi	6
2.3. Betonun Kırılması	6
2.4. Doğal Lif Katkılı Betonlar	9
2.5. Lif Katkıları İle İlgili Yapılan Önceki çalışmalar.....	11
2.6. Çalışmanın Kapsamı	14
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Materyal	16
3.1.1. Agrega	16
3.1.2. Çimento	17
3.1.3. Katkı.....	17
3.1.4. Isırgan Lifi.....	18
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Isırgan lifi elde edilmesi.....	18

3.2.2. Beton karışımının hazırlanması.....	21
3.2.3. Numunelerin kürlenmesi.....	24
3.2.4. Taze beton deneyleri.....	25
3.2.5. Çökme (slump) deneyi	26
3.2.6. Sertleşmiş beton deneyleri	27
3.2.6.1. Birim hacim ağırlık tayini	27
3.2.6.2. Su emme deneyi	28
3.2.6.3. Basınç dayanımı testi	29
3.2.6.4. Çekme dayanımı.....	30
3.2.6.5. Eğilme dayanımı	30
 BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	31
4.1. Fiziksel ve Mekanik Deneyler	31
4.1.1. Elek analizi.....	31
4.1.2. Çökme (slump) deneyinin sonuçları	33
4.1.3. Birim hacim ağırlık deneyinin sonuçları.....	35
4.1.4. Su emme deneyinin sonuçları	36
4.1.5. Basınç mukavemeti	36
4.1.6. Çekme dayanımı	39
4.1.7 Eğilme dayanımı	41
4.2. Teknolojik deneyler.....	42
4.2.1. X-Işını floresansı analizi (XRF).....	43
4.2.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM).....	45
4.2.3. Enerji dispersif spektrometre analizi (EDS)	47
4.2.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre-graviyometrik analiz(DSC-TG).....	53
 TARTIŞMA VE SONUÇ	60
 KAYNAKLAR.....	64

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

σ	: Basınç mukavemeti
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
A	: Kesit alanı
A_0	: Kuru numune ağırlığı
A_s	: Suyu doymuş numune ağırlığı
BSTD	: Buhar odasında kürlenmiş standart numune
d	: Numune kesit yüksekliği
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometre
ft	: Çekme dayanımı
fc	: Basınç dayanımı
g	: Gram
Hb	: Boşluk hacmi
I	: Atalet momenti
L	: Numune uzunluğu
M	: Eğilme momenti
MN	: Mega-Newton
MPa	: Mega-Pascal
PA	: Su emme yüzdesi
P	: Eksenel yük
s	: Eksenel gerilme
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SSTD	: Su havuzunda kürlenmiş standart numune
TGA	: Termo-Gravimetric Analiz
XRF	: X-Işın Floresans
1B0,75	: Buhar odasında kürlenmiş 1 cm uzunluğunda %0,75 lif katkılı numune

1B1,5	: Buhar odasında kürlenmiş 1 cm uzunluğunda %1,5 lif katkılı numune
1B3	: Buhar odasında kürlenmiş 1 cm uzunluğunda %3 lif katkılı numune
2B0,75	: Buhar odasında kürlenmiş 2 cm uzunluğunda %0,75 lif katkılı numune
2B1,5	: Buhar odasında kürlenmiş 2 cm uzunluğunda %1,5 lif katkılı numune
2B3	: Buhar odasında kürlenmiş 2 cm uzunluğunda %3 lif katkılı numune
1S0,75	: Su havuzunda kürlenmiş 1 cm uzunluğunda %0,75 lif katkılı numune
1S1,5	: Su havuzunda kürlenmiş 1 cm uzunluğunda %1,5 lif katkılı numune
1S3	: Su havuzunda kürlenmiş 1 cm uzunluğunda %3 lif katkılı numune
2S0,75	: Su havuzunda kürlenmiş 2 cm uzunluğunda %0,75 lif katkılı numune
2S1,5	: Su havuzunda kürlenmiş 2 cm uzunluğunda %1,5 lif katkılı numune
2S3	: Su havuzunda kürlenmiş 2 cm uzunluğunda %3 lif katkılı numune

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tipik bir kürleme evresi.....	9
Şekil 2.2. (a) Keten bitkisi enine kesit görüntüsü (b) Isırgan bitkisi enine kesit görüntüsü.....	13
Şekil 2.3. Keten, ısırgan ve kenevir bitkilerinin sak enine kesit görüntüsü	14
Şekil 3.1. Isırgan lifi tarama işlemi	18
Şekil 3.2. Isırgan liflerinin sabunlu su ile kaynatılması	19
Şekil 3.3. İkinci tarama işlemine tabi tutulan lifler.....	19
Şekil 3.4. Ölçülerek karışım uzunluklarında kesilen lifler.....	20
Şekil 3.5. Tozlardan arındırılmak için eleme işlemi yapılan kesilmiş lifler.....	20
Şekil 3.6. Oranlama yapılarak sınıflandırma işlemi.....	21
Şekil 3.7. Transmikserden beton alınması	22
Şekil 3.8. Liflerin beton içerisine katılması	22
Şekil 3.9. Numune betonlarının şişlenme ve tokmaklama işlemi	23
Şekil 3.10. Etiketlenip lif özelliklerine göre sınıflandırılan numuneler.....	23
Şekil 3.11. Numune kaplarından çıkarılıp kürleme için sınıflandırılan numuneler ...	24
Şekil 3.12. Buhar kürü odası	25
Şekil 3.13. Su kürü havuzu	25
Şekil 3.14. Slump hunisi ve tepsisi	26
Şekil 3.15. Slump değeri ölçümü	27
Şekil 3.16. (a) Etüv fırını (b) hassas terazi görselleri.....	28
Şekil 3.17. Betonun pres makinesi ile kırımı	29
Şekil 4.1. Karışım agregası granülometri eğrisi	33
Şekil 4.2. Lif uzunluğu ve oranının artmasıyla oluşan çökme değerindeki değişim grafiği	34
Şekil 4.3. Lif oranına göre birim hacim ağırlık değerleri	35
Şekil 4.4. Lif oranına göre su emme oranları.....	36
Şekil 4.5. Su havuzu kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama basınç değerlerinin karşılaştırılması	37

Şekil 4.6. Buhar odası kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama basınç değerlerinin karşılaştırılması	38
Şekil 4.7. Su havuzu kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama çekme dayanımı	40
Şekil 4.8. Buhar odası kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama çekme dayanımı	40
Şekil 4.9. Su havuzu kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama eğilme dayanımı	41
Şekil 4.10. Buhar odası kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama eğilme dayanımı	42
Şekil 4.11. (a) BSTD numunesi 200 µm SEM görüntüsü (b) 1B0,75 numunesi 100µm SEM görüntüsü	46
Şekil 4.12. (a) SSTD numunesi 200µm SEM görüntüsü (b) 1S0,75 numunesi 100µm SEM görüntüsü	47
Şekil 4.13. BSTD numunesinin EDS analiz sonuçları	49
Şekil 4.14. 1B0,75 numunesinin EDS analiz sonuçları	49
Şekil 4.15. 1B1,5 numunesinin EDS analiz sonuçları	50
Şekil 4.16. 1B3 numunesinin EDS analiz sonuçları	50
Şekil 4.17. SSTD numunesinin EDS analiz sonuçları	51
Şekil 4.18. 1S0,75 numunesinin EDS analiz sonuçları	51
Şekil 4.19. 1S1,5 numunesinin EDS analiz sonuçları	52
Şekil 4.20. 1S3 numunesinin EDS analiz sonuçları	52
Şekil 4.21. BSTD numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	53
Şekil 4.22. SSTD numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	53
Şekil 4.23. 1B0,75 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	54
Şekil 4.24. 1S0,75 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	54
Şekil 4.25. 1B1,5 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	54
Şekil 4.26. 1S1,5 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	55
Şekil 4.27. 1B3 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	55
Şekil 4.28. 1S3 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları	55

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı Faktörlerin Basınç Dayanımı Değişikliğine Etkisi	7
Tablo 2.2. Seçilmiş doğal liflerin kompozit malzeme için önemli özellikleri	13
Tablo 2.3. Bazı liflerin kimyasal bileşimleri	13
Tablo 4.1. Kırma kum agrega için elek analizi sonuçları	32
Tablo 4.2. 5/15İnce çakıl agrega için elek analizi sonuçları	32
Tablo 4.3. 15/25İnce çakıl agrega için elek analizi sonuçları	32
Tablo 4.4. Tüm karışım agregası için elek analizi sonuçları	33
Tablo 4.5. Slump Değerleri	34
Tablo 4.6. Lif katkısına göre elde edilen veriler	35
Tablo 4.7. Su havuzu kürü uygulanmış numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri (MPa).....	37
Tablo 4.8. Buhar odası kürü uygulanmış numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri (MPa).....	37
Tablo 4.9. Su havuzu kürü uygulanmış numunelerin ortalama çekme dayanımı değerleri(MPa).....	39
Tablo 4.10. Buhar odası kürü uygulanmış numunelerin ortalama çekme dayanımı değerleri(MPa).....	40
Tablo 4.11. Su havuzu kürü uygulanmış numunelerin ortalama eğilme dayanımı değerleri (MPa).....	41
Tablo 4.12. Buhar odası kürü uygulanmış numunelerin ortalama eğilme dayanım değerleri (MPa).....	42
Tablo 4.13. Numunelerin kimyasal bileşen analizi sonuçları	44

ISIRGAN OTU LİFİ KATKILI BETONUN, FARKLI KÜR KOŞULLARINDAKİ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Beton genel anlamda su, çimento ve agreganın bir araya gelmesiyle meydana gelen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun dayanımı, maliyeti ve üretim aşaması göz önünde bulundurulduğunda geçmişten günümüze kadar her alanda kullanıma ihtiyacını doğurmuştur. Betonun kullanım alanının artmasıyla birlikte kullanım amacına göre özel betonlar üretilmeye başlanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında lifli betonlar üzerine bir araştırma yapılmış, lif olarak ise ülkemizde özellikle de Karadeniz Bölgemizde kolayca yetişebilmekte olan ısırgan otundan elde edilen lifler tercih edilmiştir. Çalışmalar kapsamında lifler ayrı ayrı (%0,75, %1,5 ve %3) 1 cm ve 2 cm uzunluklarında ve belirlenen oranlarda betona katılmıştır, numuneler standart numune ölçüleri olan 15×15×15 küp kaplarda üretilmiş ve numuneler hem buhar odasında hem de su havuzunda bekletilerek farklı kür koşullarının beton üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Standart deney yaşlarına kadar bekletilen numunelerin fiziksel ve mekanik testleri gerçekleştirilmiş ve ardından SEM, XRF, EDS ve DSC-TGA gibi ileri teknolojik testleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez sonucunda ısırgan otu lifi katkılı beton standart betona kıyasla genel anlamda daha yüksek basınç dayanımları sağlamıştır. Ayrıca su havuzu kürü uygulanan numunelerin basınç dayanım değerleri buhar odası kürü uygulanan numunelerin basınç dayanımından daha yüksek olduğu elde edilmiştir. Yapılan XRF, SEM, EDS ve DSC-TG analizleri sonucunda, ısırgan otu lifi katkısının betonun kimyasal, mikroyapısal ve termal özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Lifler, matrise homojen şekilde dağılmış; özellikle %3 katkı oranında çatlak kontrolü ve mikroyapısal bütünlük artmıştır. Kimyasal analizlerde, lif oranı arttıkça karbon içeriğinin yükseldiği, bu durumun özellikle su havuzu küründe mekanik performansı desteklediği görülmüştür. Termal analizler ise lif katkısının, betonun ısıya karşı dayanımını artırarak termal stabiliteyi geliştirdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Betonarme, Dayanım, Isırgan Otu, Katkı, Kürleme, Lif.

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NETTLE FIBER REINFORCED CONCRETE UNDER DIFFERENT CURING CONDITIONS

SUMMARY

Concrete is generally a composite building material formed by the combination of water, cement and aggregate. Considering the strength, cost and production stage of concrete, it has created the need to be used in every field from the past to the present. With the increase in the usage area of concrete, special concretes have started to be produced according to the purpose of use.

Within the scope of this study, a research on fibrous concretes was carried out, and fibers obtained from nettle, which can easily grow in our country, especially in the Black Sea region, were preferred as fibers. Within the scope of the studies, the fibers were added to the concrete separately (%0,75, %1,5 and %3) in 1 cm and 2 cm lengths and at the determined ratios, the specimens were produced in 15×15×15 cube containers with standard specimen dimensions and the specimens were kept both in the steam room and in the water pool and the effect of different curing conditions on the concrete was also examined. Physical and mechanical tests were carried out on the specimens kept until the standard test ages and then advanced technological tests such as SEM, XRF, EDS and DSC-TGA were carried out. As a result of this thesis, nettle fiber reinforced concrete provided generally higher compressive strengths compared to standard concrete. In addition, the compressive strength values of the water pool cured specimens were higher than the compressive strength values of the steam room cured specimens. As a result of XRF, SEM, EDS and DSC-TG analyses, it was determined that nettle fiber admixture positively affected the chemical, microstructural and thermal properties of concrete. The fibers were homogeneously distributed in the matrix; crack control and microstructural integrity increased especially at %3 admixture rate. Chemical analyses showed that the carbon content increased as the fiber content increased, which supported the mechanical performance especially in water pool curing. Thermal analysis revealed that fiber admixture improved the thermal stability of concrete by increasing its resistance to heat.

Keywords: Reinforced Concrete, Strength, Nettle, Admixture, Curing, Fiber.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yaşamın varoluşundan günümüze kadar olan süreçte en önemli olarak görünen ihtiyaç barınma ihtiyacıdır. Canlılar barınma ihtiyaçlarını en ilkel aşamada mağaraları kullanarak gidermiş olsalar da insanoğlunun varlığı gereği her şeyi düşünüp sürekli geliştirme ihtiyacı hissetmiş ve böylece barınma alanlarını geliştirerek yapay mağaralar, çadırlar ve ahşap yapılardan oluşan barınak tarzı yapılar inşa etmişlerdir. İlerleyen zamanlarda ilmin ve bilimin gelişmesiyle betonarme ve çelik gibi daha kompleks yapıda olan malzemeler ile gelişmiş yapılar meydana çıkmıştır.

Kompozit bir yapıya sahip olan betonun gelişmesiyle günümüz dünyasında beton kullanımı özellikle de betonarme malzemelerin varlığı her alanda kullanılmaktadır. Yaşamın ve bilimin olduğu hemen hemen her alanda betonun varlığı günümüzde sınırsız beton ihtiyacı oluşturmakla birlikte, betonun bünyesindeki yetersiz kalan özelliklerinin de iyileştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Beton genel olarak su ve çimentonun birleşmesiyle oluşturduğu harcın yanı sıra agreganın da katılmasıyla meydana gelmektedir. Kullanılacak alana göre beton karışımında kullanılan malzemeler değişiklik göstermektedir ve farklı sınıflarda betonlar üretilmektedir.

Beton ile üretilen malzemelerin birçok farklı avantajı bulunmasına rağmen mekanik özelliklerinde bazı sınırlamalar vardır. Mekanik özellikleri üzerindeki en büyük sınırlama malzemenin aşırı gevrek ve kırılgan yapıda olması, bununla birlikte malzemenin yapısında çatlaklar meydana gelmesidir (Mehta ve ark, 2014). Beton üzerindeki bu eksikliklerin giderilmesi için çok fazla sayıda çalışmalar yapılmıştır ve halen bu araştırmalar devam etmektedir (Türkmenoğlu ve Funda, 2016).

Betonun priz almasıyla birlikte, bünyesinde meydana gelen çatlakların azaltılması için beton karışımına farklı kimyasal katkı malzemelerinin yanı sıra birçok farklı lifler

katılmış ve deneyler yapılmıştır. Yapılan ilk çalışmalara bakıldığında saman ve hayvan kılları kompozit yapılar için lif olarak kullanılmıştır. Beton karışımına dâhil olan lifler genel olarak doğal lifler ve yapay lifler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Yapay lifler çoğunlukla çelik, cam, polipropilen lif vb. olarak kullanılmaktadır. Doğal lifler de hayvanlardan, bitkilerden veya minerallerden oluşturulmaktadır (Bentur ve ark., 2006).

Bitkilerin gövdesinde bulunan lifler tek bir hücreden değil birçok hücreden meydana gelmiş lif şeklindedirler ve bu nedenle liflere çok hücreli elyaf da denilmektedir. Gövde lifi olarak bilinen başlıca bitkiler keten ,jüt ve rami bitkileri olsa da az bilinen ısırgan otu bitkisinde de keten bitkisine benzer bir şekilde yapısında %17 oranında kaliteli lif bulundurmaktadır (Akpınarlı ve ark., 2018).

Isırgan otu bitkisinin bünyesinde bulunan lif oranının yüksek olması da bu liflerin farklı alanlarda kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan araştırmalara göre ülkemizin bazı yerel kısımlarında ısırgan otu bitkisinin lifleri ilkel yöntemlerle elde edilip tekstil alanında kullanılmaktadır (Arslanoğlu ve ark., 2020) . Ancak ülkemizde ormanlık alanlarda, yol ve dere kenarları gibi sürekli kullanılmayan yerlerde kendiliğinden yetişen bu bitkinin değerlendirilmesi için bu kullanım alanı yetersiz kalmaktadır (Ayan ve ark., 2006).

Isırgan otu bitkisinin bünyesinde ağırlığının %17'sini oluşturan bu lifin bulunması ve lif kalitesinin yüksek olması, gerilmeye karşı dayanıklı olması, dirençli ve hafif olması bu bitkinin doğal lif kaynağı olarak değerlendirilmesi için büyük bir potansiyele sahiptir (Ayan ve ark., 2006).

Doğal liflerden özellikle ısırgan otu lifi gibi bitkisel liflerin kullanılabilirliği kullanıldığı alanda hem ekonomikliğe hem de doğal liflerin çevreye vermiş olduğu olumsuz etkileri azaltarak ekolojik dengeyi korumaya katkıda bulunur. Günümüzde geri dönüşümün ve doğal malzemelerin kullanılabilirliğinin ön planda tutulması farklı liflerin elde edilmesi gereksinimini bu da ısırgan otu bitkisinin doğal lif kaynağı olarak kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır.

Bu çalışmada ise beton içerisine ısırgan otu lifi farklı oranlarda katılmıştır. Yerel yöntemlerle elde edilen ısırgan otu lifi yapılan diğeri lifli çalışmalar göz önünde bulundurularak farklı uzunluklarda ve farklı oranlarda kullanılmıştır. Isırgan otu lifini kullanarak betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek, betonun taze ve sertleşmiş durumdaki performanslarını iyileştirip betonun durabilitesinin arttırılması amaçlanmıştır.

Çalışmamız kapsamında üretilen farklı uzunluktaki ve oranlardaki lifli beton numuneler su havuzu kürü ve buhar odası kürü olmak üzere iki farklı kürleme işlemeine de tabi tutulup farklı kür koşullarının da lifli beton üzerindeki etkisi incelenmiştir.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Beton Hakkında Genel Bilgiler

Beton; su, çimento ve agreganın oluşturduğu karışıma gerekli katkıların katılıp karıştırılmasıyla oluşan, ilk aşamada işlenebilirliği yüksek zamanla hidratasyona uğramasıyla birlikte katılaşıp ve bulunduğu yerde sertleşip şeklini koruyabilen bir yapı malzemesidir (Kaplan ve ark., 2020).

Betonun üretildikten sonra istenilen şekillerde kolayca üretilebilmesi, gerekli malzemelerin kolay bir şekilde temin edilebilir olması, gerekli özelliklerde üretilmesinin ardından istenilen dayanımların elde edilebilmesi insanlık tarihinde en çok kullanılan yapı malzemesi olmasını sağlamıştır (Erdoğan ve Kurbetçi, 2003).

Betonun yapı malzemesi olarak tercihinin en başlıca nedenleri betonun ilk aşamada işlenebilir kıvamda olması ve zamanla sertleşerek istenilen şekli almasıdır. Henüz sertleşmemiş betona istenilen şekli verebilmek için akışkanlık önemliyken betonun prizini alıp dayanımını sağlaması taşıyıcı malzeme olarak betonun kullanılmasını sağlamaktadır (Bayraktar, 2019).

Betonun taze haldeki özellikleri gerekli şartları sağlamaması halinde betonun sertleşmiş haldeki dayanımını etkilemektedir. Bunların en önemlisi de beton istenilen şekil ve boyutlara getirilmeden yeterli işlenebilirliği sağlayamıyorsa priz sonrasında gerekli dayanımı sağlayamaz (Erdoğan, 2003). Sertleşmiş betonun kalitesi doğrudan kütleme işleminin yanı sıra betonun taşıma ve yerleştirme işlemine bu da betonun işlenebilirliğine bağlıdır (Öztürk, 2005).

Betonun temel bileşenlerinden olan agrega betonun yaklaşık %70 ini oluşturmaktadır. Kırmataş, çakıl, kum, cüruf, kil gibi doğal kaynaklı malzemeler agrega olarak adlandırılmaktadır. Geleneksel betonda agrega çimento ve suyun bağlayıcılık özellikleri ile birlikte bir arada tutulur (Erdoğan, 1995). Betonun işlenebilirliği, dayanıklılığı, ağırlığı, karışım oranlarının belirlenmesi, betonun ekonomik durumu vb. agreganın özelliklerine göre değişiklik göstermektedir (Bilgiç, 2009).

Betonun en önemli diğer bileşeni olan çimento betonun bağlayıcılık özelliğini sağlar. Çimento su ile birleşip hidrasyona uğrayarak kum, çakıl ve kırmataş gibi agregalarla bir araya gelip zamanla sertleşen, havada ve suda priz alma özelliğine sahip ögütölmüş bir malzemedir (Öztürk, 2020).

Çimento karışımının ilk aşamada plastik durumda olması beton karışımının kolaylıkla karıştırılabilir ve işlenebilir olmasını sağlamaktadır. Çimento karışımının zamanla sertleşmesiyle beton karışımı da sertleşmekte ve gerekli olan dayanımı kazanmaktadır. Çimentonun bu özelliğı doğrultusunda çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri gibi tüm özellikleri doğrudan betonun özelliklerini etkilemektedir. Çimentonun beton içerisindeki hacminin küçük olmasına rağmen bu özelliklerinden dolayı betonun en önemli bileşenidir (Topgöl, 2016).

Betonun bir diğer bileşeni olan su beton içerisindeki en az maliyetli malzeme olmasına rağmen betonun olmazsa olmazıdır. Ancak beton karışımındaki su miktarının optimum düzeyde olması betonun dayanıklılığı için en önemli bileşendir. Optimum miktardan daha fazla suyun karışıma katılması dayanımı olumsuz anlamda etkilerken miktarın az olması akışkanlığı azaltarak işlenebilirliği azaltır ve hidrasyon için gerekli su sağlanamazsa dayanımı yine olumsuz anlamda etkilemektedir (Şimşek, 2012).

Beton karışım suyunun içerisinde karışımın kimyasını bozacak herhangi bir madde bulunmaması gerekmektedir. En ideal karışım suyu kaliteli ve normal pH değerleri içerisinde bulunmalıdır. Suyun içerisinde katı madde bulundurulmamalıdır. Suyun taşınması gereken bu özelliklere dikkat edilerek karışım içerisinde kullanılabilir. Ayrıca

suyun beton için olan diğer bir önemi de sertleşmiş betonda kürleme işlemi için kullanılmasıdır (Saran, 2007).

2.2. Lifli Betonun Kısa Tarihçesi

İnsanoğlu eski çağlarda evrenin olumsuz koşullarına karşı yapılarını korumak ve kullanım sürelerini uzatmak için saman, hayvan kılları vb. doğal lifleri kullanarak mikro donatı uygulamasını yapmışlardır. MÖ 2500 yıllarına ait ülkemizde yapılan kazı çalışmalarında bulunan doğal lifler bu uygulamaların örnekleridir (Arslantürk, 2021).

Antik çağlardan bu yana yapı elemanlarını güçlendirmek için lifler kullanılmıştır. Günümüzden yaklaşık 3500 yıl önce inşa edildiği bilinen 57 metre yüksekliğindeki ‘Aqar Quf’ kulesinin yapımında tuğlaları güçlendirmek için lif için saman kullanıldığı bilinmektedir. Daha yakın zamana bakacak olursak Mimar Sinan’ın yapılarında kullandığı horasan harcının içerisinde saman ve keçi kılı kullandığı bilinmektedir (Baradan ve ark., 2012).

1960’lı yıllara kadar beton karışımında asbest lifleri kullanılmıştır ancak asbest liflerinin zararlı olduğu düşüncesinin ardından alternatif lif türleri araştırılmaya başlanmıştır. Günümüze kadar çelik, cam, polipropilen vb. liflerle alakalı önemli miktarda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde her bir lifin kendine özgü farklı işlevlere ve özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmış ve yapay liflerin yanı sıra doğal liflerin de önemi ortaya çıkmıştır (Arslantürk, 2021).

2.3. Betonun Kürlenmesi

Betonun kürlenmesinin amacı hidratasyon, priz alma ve sertleşme için gerekli olan su miktarının betonun bünyesinde bulundurulmasını sağlamak ve uygun sıcaklığı korumaktır. Betonun kürlenmesi için; su kürü, su tutan malzemeler ile kür, buhar kürü, kaplayıcı malzemelerle kür gibi çeşitli yöntemler uygulanmaktadır (Uluata,1981).

Binici ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada betonun basınç dayanımına etki eden faktörler ile ilgili verilen bilgiler Tablo 2.1’de verilmiştir. Tablodaki verilerin dışında da bu gibi faktörler bulunsa da genel anlamda beton basınç dayanımına etki eden en büyük faktörlerden birinin beton kürünün etkisi olduğu söylenilebilmektedir.

Tablo 2.1. Bazı faktörlerin basınç dayanımı değişikliğine etkisi (Binici ve ark. 2000)

Faktörler	Faktörün dayanım değişikliğine etkisi (%)
Çimento Türünün Etkisi	10
Granülometrinin Etkisi	11
Beton Üretim Şeklinin Etkisi	21
Beton Kompaksiyonunun Etkisi	26
Beton Kürünün Etkisi	32

Betonun doğru ve yeterli bir şekilde kürlenmesi ile betonun basınç dayanımının tam olarak gelişebildiği belirtilmektedir (Baradan ve ark. 2015). Beton ortamının sıcaklığının ve nem miktarının yetersiz olması durumunda çimento hidratasyonu yavaşlamakta ve betonun özellikle erken yaş dayanımlarında azalmalar gözlemlenmekte, beton ortamının sıcaklığının ve nem oranının yüksek olması durumunda da hidratasyon hızında artış ve erken yaş dayanımlarda dayanımın arttığı belirtilmiştir (Ararat, 2015).

Betonun standart kür koşullarına göre kütleme işlemi numunelerin kalıplardan çıkarıldıktan sonra 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilerek ve üretimden 28 gün sonraki basınç dayanımlarına bakılarak yapıldığı belirtilmiştir (Kaymak, 2015).

Alyamaç ve İnce (2007) tarafından yapılan çalışmada beton numunelerine su kürü ve hava kürü uygulamaları yapılmış ve su kürü uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının yaklaşık olarak %18 oranında daha fazla olduğu, sahada yapılacak çalışmalarda kütleme yönteminin de su kürüne yakın sonuçlar verebilen yöntemler olması gerektiği belirtilmiştir.

Kür koşulları ile ilgili basınç dayanım testlerinin uygulanması hususunda genel görüş beton numunelerinin suya doygun olarak teste sokulmasıdır. Bunun sebebi ise uygulamada numunelerin suya doygun hale getirebilmenin kolay olması ve hava

ortamındaki numunelerin su içeriği veya kuruluk derecesinin tam olarak bilinmemesinden olduğu belirtilmiştir (Kaymak, 2015).

Buhar küründeki amaç betondan buharlaşma ile ısı ve su kaybını engelleyerek gerekli dayanımın sağlanabilmesidir. Buhar kürü ile betonun standart dayanımının %70'ine birkaç günde ulaşılabilir. Bu erken mukavemet değeri betonun kalıptan erken alınmasını sağlamaktadır (Sağsöz, 2007).

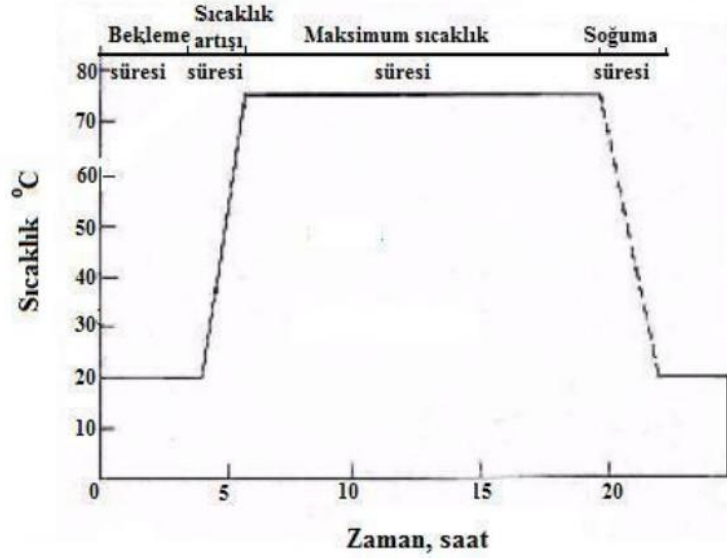
Betona farklı kür yöntemlerinin uygulanması ile daha kısa sürede dayanım kazanması sağlanabilmektedir. Betona kısa sürede dayanım kazanmasını sağlayan bu kürler genel olarak ısı işlemi olarak tanımlanmaktadır (Karabulut, 2006).

Ön üretilmiş beton malzemelere daha hızlı bir şekilde dayanım kazandırılması için uygulanan yöntemler genel olarak hızlandırılmış kür çeşitleri şeklinde bilinmektedir. Bu yöntemler beton kalıbının ısıtılması veya ortama beton ile doğrudan temas edecek buhar kürü uygulamalarıdır. Hidratasyonu hızlandırmak için aynı ortamda doymuş su buharı da bulundurulabilir. Yüksek basınç ile uygulanan buhar küründe de beton elemana 175°C'ye kadar sıcaklıklar uygulanmaktadır (Alabaş, 2002). Isıl işlemli yöntemlerden basınçlı buhar kürü dışındaki tüm işlemler 100°C'nin altında uygulanmaktadır (Karabulut, 2006).

Betonun atmosferik basınçlı buhar kürü uygulamasında genel olarak içerisinde buharı hapsedebilecek şekilde hazırlanmış kür odaları veya tüp olarak isimlendirilen buhar tünelleri kullanılmaktadır. Bu şekilde uygulanan buhar kürü atmosferik basınçlıdır. Kür ortamının olması gereken sıcaklık sınır değerleri 40-100°C'dir. Genellikle buhar sıcaklığı 65-85°C değerlerinde uygulanmaktadır (Erdoğan ve Erdem, 2002).

Beton için uygulanmakta olan kür sıcaklığının yüksek olması durumunda normal sıcaklıktaki küre göre ilk günlerde dayanım yüksek olmasına rağmen ileri yaş dayanımlarının daha düşük olmasına sebebiyet vermektedir. Betonun hem erken yaş dayanımının yüksek olması hem de ileri yaş dayanımının yüksek olmasını sağlayabilmek amacıyla atmosferik basınçlı buhar kürü değişik ara sürelerle ve farklı

sıcaklık değerlerinde uygulanmaktadır. Şekil 2.1’de atmosferik basınçlı buhar kürünün beton üzerinde uygulanmasına ait tipik bir kürleme evresi gösterilmiştir (Erdoğan ve Erdem, 2002).



Şekil 2.1. Tipik bir kürleme evresi (Erdoğan ve Erdem, 2002)

Betonda buhar kürü uygulamasında erken yaş dayanımlar yüksek olmasına rağmen ileri yaş dayanımlarında azalmalar meydana gelmektedir. Buna karşıt su kürü uygulanan betonlarda tam tersi durum söz konusudur. İleri yaş dayanımı açısından kürleme yöntemlerinden en ideal olan su kürü yöntemidir (Sağsöz, 2007).

2.4. Doğal Lif Katkılı Betonlar

Betonun birçok avantajı olmasına karşılık süneklilik, gerilme dayanımı ve enerji sönümleme kapasitesi gibi özellikleri her zaman yeterli olmamaktadır. Bu yetersiz özellikleri azaltmak için veya en aza indirebilmek için gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda doğal veya yapay liflerin gereksinimi ortaya çıkmış ve zamanla daha fazla önem kazanmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda liflerin betonun eksik kalan özelliklerini iyileştirebileceği anlaşılmıştır. Mekanik olarak lif katkıları, betonda oluşan çatlamları kontrol edebilir ve betonun özelliklerini iyileştirebilir (Mercan, 2019).

Fazla yükseklikteki yapılar gibi özel tasarım gerektiren yapılarda hazırlanacak betonun karışımı da özel tasarım gerektirmektedir. Beton karışımı için gerekli malzemeler oluşturulacak yapının mukavemetini sağlamalı ve gerekli yönetmeliklere uygun olmalıdır. Bu veriler ışığında dünyanın farklı bölgelerinde yapılan çalışmalar neticesinde beton içerisinde katkı olarak kullanılabilecek farklı lifler ortaya çıkmıştır (Türker ve ark., 2019).

Falkner ve ark. (1995) yaptığı çalışmada lifli ve lifsiz betonlar karşılaştırıldığında; betonun dayanımının lifin cinsine ve özelliklerine bağlı olduğunu ve lifin genel anlamda yük altında kalan malzemede meydana gelen kırılmalardan sonra yük taşıma kapasitesinin devam etmesinde, eğilme dayanımında ve beton performansında artış meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Lifli betonların standart betonlara göre sünek yapıda olmaları yüke maruz kaldıklarında daha yüksek performans göstermelerini sağlamaktadır. Bundan dolayı liflerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Liflerin varlığı kılcal çatlakların oluşumunu azaltır ve çatlak sonrasındaki gerilmeleri kendi üzerine ya da çatlamamış alanlara aktararak dayanımı korur (Shareef ve ark., 2020). Betonda lif kullanımının maliyetin azaltılmasını, atık malzemelerin azaltılmasını ve betonun performansını iyileştirmesi yönünden lifli beton kullanımı faydalı sonuçlar doğuracaktır (Alkayış ve Başyigit, 2021).

Endüstriyel üretimdeki artış ve çevre kirliliğinin günümüzdeki yüksekliğinin engellenmesine yönelik yapılan çalışmalar kapsamında geri dönüşümlü malzemelerin kullanımı veya doğal malzemelerin kullanım önemi her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda lif üretimi için meydana çıkabilecek zararlı etkileri minimuma düşürebilmek amacıyla doğal lifler üzerine araştırmalar artmıştır (Washington ve ark., 2014).

Doğal lifler endüstriyel çalışmalarda oldukça fazla kullanılırken inşaat alanında kullanımı hala sınırlıdır. Dayanıklılık sorununu ile birlikte doğal elyafların fiziksel ve

mekanik özelliklerindeki değişiklik bu liflerin inşaat uygulamalarında kullanımını sınırlamaktadır (Faruk ve ark., 2014).

Aydoğan ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada kenevir bitkisi yetiştiriciliğinin ekonomik olarak yapılabilirliği gösterilmiştir. Yapılan çalışmada kenevirin hem tohum hem de lif üretimi için yetiştirilmesinin diğer yöntemlere ve diğer ürünlere göre daha karlı olduğu saptanmıştır.

Yapılan çalışmalar kenevir liflerinin çekme dayanımının çelik ile karşılaştırılabilir olduğunu, betonun güçlendirilmesinde kullanılan polimerlere alternatif olabileceğini göstermektedir (Akçaat, 2022).

Bitkisel ve hayvansal liflerin yapı malzemeleri ile birlikte kullanım fikri yeni değildir. Eski mısırdaki kil malzemeleri ile yapı blokları oluşturulurken saman kullanıldığı bilinmektedir. Kullanılan doğal liflerden en eski doğal lifler saman ve at kuyruğudur. Geleneksel yapı malzemelerine bakıldığında kerpiç kullanımında da bu doğal liflerin kullanıldığı görülmektedir (Acun, 2000).

Kenevir lifi, biyolojik açıdan daha uzun kullanım süresi tanınmasıyla ve çevre ile ilgili olumlu özellikleri sebebiyle ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Kenevir lifinin inşaat alanında kullanılan petrol türevi ısı yalıtım malzemelerinin yerine kullanılabilir. Doğal bir lif olmasının yanı sıra kenevir lifi uzun ömürlüdür. Dayanıklılık açısından da mevcut yalıtım malzemelerine oranla daha üstündür. Uluslararası yangın standartlarına da uygunluğu bakımından her tip yapı malzemesi için kullanılabilir (Kaynak, 2022).

2.5. Lif Katkıları İle İlgili Yapılan Önceki çalışmalar

Beton içerisinde katkı olarak kullanılan doğal liflerin özgün niteliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar üzerine literatürde bulunan araştırmaların bazıları bu bölümde özetlenmiştir.

Karşin (2022), betonda katkı olarak değişik miktarlarda (%0,25, %0,50, %0,75) ve 6 cm uzunluğunda kullanılan kenevir liflerinin akışkan ve sertleşmiş betonun üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kullanılan lifler birbiriyle bağdaştırılmış ve örgü halinde ipe dönüştürülmüş liflerin kesilmesiyle elde edilmiştir. Lif miktarının oranı arttıkça betonun işlenebilirliğinin olumsuz etkilendiğini, lif katkı oranının %0,75'e çıkması durumunda ise eğilme dayanımında standart numuneye göre %35 oranında artış gözlemlenmiştir. Standart numunede basınç dayanımı 49,17 MPa olurken en yüksek basınç dayanım değeri ise %0,25 oranında 6 cm uzunluğundaki lif katkılı numunede 53,6 MPa olarak elde edilmiştir.

Iucolano ve ark. (2019), kenevir lifi ve cam lifinin 10-25 mm uzunluklarında ve betonun ağırlıkça %1 ve %2 oranlarında katılarak hazırlanan çalışmada, kenevir liflerinin cam liflere kıyasla daha yüksek yapışma özelliğine sahip olduğunu ve liflerin beton da oluşan mikro çatlakları engelleme katkısı gösterdiği belirlenmiştir.

Çomak ve ark. (2018) yaptığı çalışmada, farklı uzunluklarda (6,12,18 mm) ve farklı oranlarda (%0, %1, %2, %3) lif katkılı harç üretilmiştir. Doğa kenevir lifi katkılı çimento harçlarında %3 oran ve 12 mm uzunluğundaki lif katkılarında en olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Serin ve ark. (2018) yılında yaptığı çalışmada, 12 mm uzunluğundaki doğal kenevir lifi asfalt betona %0,05, %0,075, %0,1, %0,125 ve %0,25 oranlarında katılmış ve kenevir lifi katkısız betonla karşılaştırmıştır. Karışım numunelerinin lif oranı arttıkça stabilite değerlerinin arttığı, en yüksek stabilite değerinin ise %0,1 lif katkılı numunede elde edildiği bildirilmiştir.

Farklı türdeki doğal lif takviyeli kompozitler üzerine yapılan mekanik testlerin karşılaştırılması amacıyla yapılan çalışmada, sisal, kenevir, Hindistan cevizi ve jüt lifleri kullanılmış ve en düşük mekanik değerler Hindistan cevizi lifinde elde edilirken en iyi değerlerin kenevir lifi takviyesi ile elde edildiği bildirilmiştir (Wambua ve ark., 2003).

Horasan harcı üzerinde kenevir lifi, keçi kılı ve polipropilen elyafın 2 şer cm uzunluklarında ve sırasıyla %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında katılmasıyla yapılan çalışmada standart numunenin basınç dayanımı 6,16 MPa olurken kenevir lifinde lif oranının artmasıyla birlikte dayanımın genel olarak arttığı, en yüksek değerin ise %0,8 lif katkısında 6,82 MPa elde edilmiştir. Polipropilen lif katkısında da aynı şekilde basınç dayanımları artarken en yüksek değer %0,6 lif katkısında 7,81 MPa olarak ölçülmüştür. Keçi kılı katkısının ise harcın basınç dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir (Şimşek, 2021).

Isırgan lifi keten, kenevir, rami, jüt gibi benzer özellik gösteren bir sak liftir. Sak lifler bitkilerin sap kısımlarından elde edilmektedir. Lifler dış bitki kabuğunun hemen iç kısmında demetler halinde bulunmaktadır (Ayan ve ark., 2020). Tablo 2.2’de bazı doğal liflerin dayanım özellikleri ve Tablo 2.3’te kimyasal bileşim oranları verilmiştir.

Tablo 2 2. Seçilmiş doğal liflerin kompozit malzeme için önemli özellikleri (Summerscales, 2010)

Elyaf özellikleri	Keten	Kenevir	Jüt	Kenaf	Isırgan Otu
Elastisite modülü (GPa)	58	70	60	14-38	87 ± 28
Çekme dayanımı (MPa)	1339	920	860	240	1594
Kopma Uzaması (%)	3,27	1,7	2	-	2,11

Tablo 2.3. Bazı liflerin kimyasal bileşimleri (Ayan ve ark., 2020)

Lifler	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
Jüt	45-71	13,6-21	12-26,1
Kendir	31-72	20,3-23	9-19,1
Rami	68,6-91	5-16,7	0,6-0,7
Sisal	65-67	12	9,9
Isırgan	55,88	20,78	23,4

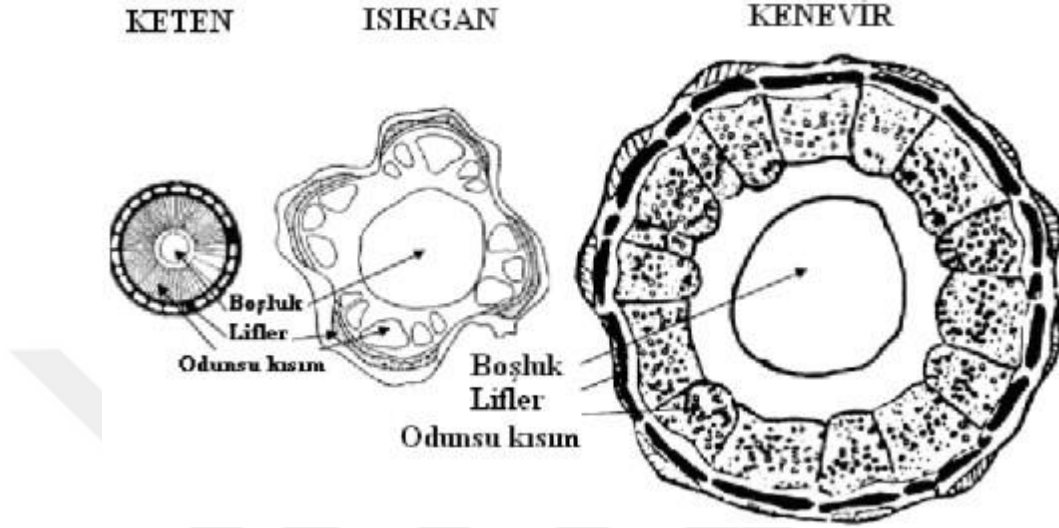


(a)

(b)

Şekil 2.2. (a) Keten bitkisi enine kesit görüntüsü (b) Isırgan bitkisi enine kesit görüntüsü

Keten, ısırgan ve kenevir bitkilerinin üçünde de lifler epidermis tabakasının alt kısmında sakın kabuk kısmında bulunan büyük boşluğu saran odunsu kısmın çevresinde Şekiller 2.2 ve 2.3'teki gibi bulunmaktadır (Ayan ve ark., 2020).



Şekil 2.3. Keten, ısırgan ve kenevir bitkilerinin sak enine kesit görüntüsü (Ayan ve ark., 2020)

2.6. Çalışmanın Kapsamı

Bu yüksek lisans tez çalışması, betonun mukavemetinin iyileştirilebilmesi için doğal lif katkısının etkilerini ve farklı kür koşullarının beton üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. İnşaat sektörünün en önemli malzemesi olan betonun doğal lif katkısıyla dayanıklılığın geliştirilmesi ve uygun olan kürleme yönteminin belirlenmesi hedeflenmiştir. Standart beton numunesi ile hem lif katkılı beton numuneleri hem de iki farklı kürlemeye maruz kalmış beton numunelerinin arasındaki performans farkları gerekli analiz çalışmaları yapılarak değerlendirilmiştir. Literatürde doğal lif katkılı betonlar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde daha önce beton içerisinde katkı olarak kullanılmamış olan ve kullanılan diğer lif türlerine benzer özellik gösteren ısırgan otu lifi katkı olarak kullanılmıştır.

Isırgan otu lifi, lifli beton uygulamaları içerisinde şimdiye dek sistematik olarak değerlendirilmemiş doğal bir lif türü olup hem çevresel sürdürülebilirlik açısından avantajlıdır hem de betonun çatlak kontrolü, süneklik ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu yönüyle, tez kapsamında ele alınan

lif türü yalnızca doğal ve yerel bir kaynak olarak değil, aynı zamanda daha önce beton teknolojisinde sistematik olarak değerlendirilmemiş bir malzeme olarak önem arz etmektedir.

Çalışmada hem lif katkılı hem de katkısız beton numuneleri hazırlanarak iki farklı kür yöntemi (su havuzu kürü ve buhar kür odası) uygulanmış, elde edilen numunelerin mekanik ve kimyasal performansları detaylı analizlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler, lif katkısının ve kür yönteminin betonun dayanım karakteristikleri üzerindeki etkisini bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, literatürde sıkça incelenen çelik, cam veya polipropilen gibi sentetik liflerin aksine, çevresel ve ekonomik bakımdan daha sürdürülebilir olan ısırgan otu lifi ile yürütülmesi bakımından yerli, özgün ve bilimsel olarak yeni bir açılım sunmaktadır. Aynı zamanda, farklı kürleme yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi ile birlikte değerlendirilmesi, beton teknolojisi alanında uygulamaya dönük önemli öneriler sunmayı hedeflemektedir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmamızda betonun mekanik özelliklerinde görülen eksikliklerin iyileştirilebilmesi için kullanılan katkı malzemeleri olan liflere bir yenisini ekleyebilmektir. Literatüre yeni bir lif katkısının kazandırılması için Giresun'un Espiye İlçesinin Akkaya köyünde yetişmekte olan ısırgan otlarının saplarından oluşan lifler kullanılmıştır. Literatürde beton katkısı olarak kullanılan birçok liften biri olan kenevir lifi ile benzer yapıya sahip olan ısırgan lifi kullanılmıştır.

Isırgan otlarından elde edilen lifler beton karışımına hacimce farklı oranlarında katılmıştır. Hazırlanan tüm beton numunelerinde su/çimento oranı 0,46 olarak hazırlanmıştır. Standart numunemizde hedeflenen basınç dayanımı C30/37'dir. Hazırlanan numuneler üzerinde gerekli deneyler yapılarak bitkisel lifli betonlar karşılaştırılmıştır.

3.1. Materyal

Bu tez kapsamında üretilen beton karışımında kullanılan çimento, agrega, su ve liflerin üretici firmalardan veya literatürde yapılan araştırmalardan elde edilen özellikleri alt başlıklarda verilmiştir.

3.1.1. Agrega

Deney numuneleri için hazırlanan 1 m³ beton karışımında, toplam 1850 kg agrega kullanılmış olup bu agregalar, TS EN 12620 "Beton için agregalar" ve TS EN 933-1 "Tane boyutu dağılımının tayini" standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Karışımda agrega oranına göre %29,41 oranında 15/25 mm çapında kaba agrega (500 kg), %14,71 oranında 5/15 mm çapında ince agrega (250 kg) ve her biri %32,35 oranında

olmak üzere iki farklı tane boyutuna sahip kum (Kum 1 – 0,7 mm ve Kum 2 – 0,4 mm; her biri 550 kg) kullanılmıştır. Farklı boyutlardaki agregaların birlikte kullanılması, betonun granülometrik yapısının optimize edilmesini sağlayarak hem işlenebilirliğini artırmakta hem de ısırgan otu lifi katkısının karışım içinde homojen bir şekilde dağılmasına olanak tanımaktadır. Bu dengeli agregada dağılımı, lif katkılı betonun mekanik performansı ve mikro yapısal bütünlüğü açısından önemli bir rol oynamaktadır.

3.1.2. Çimento

Çalışmamızda kullanılan beton karışımında, TS EN 197-1 standardına uygun olarak tanımlanmış olan CEM II (Portland Kompozit Çimento) 42,5 tipi çimento tercih edilmiştir. Bu çimento sınıfı, Portland çimentosu ile çeşitli katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ve dayanım ile dayanıklılık özellikleri bakımından yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan kaliteli bir bağlayıcı malzemedir.

3.1.3. Katkı

Beton karışımında liflerin homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak ve aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini artırmak amacıyla, Sikaplast PZ 3065 N marka su azaltıcı/ akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesi kullanılmıştır. Yüksek performanslı bu katkı maddesi, betonun kıvam özelliklerini iyileştirerek lif katkısının beton matrisi içerisinde topaklanmadan dengeli şekilde dağılmasına olanak tanımış, böylece karışımın hem yerleşme kabiliyeti hem de mekanik performansı üzerinde olumlu etkiler sağlamıştır. Uygulanan karışımda bu katkı maddesi, toplam karışım hacmine göre 3,4 kg/m³ oranında dozajlanmıştır. Bu katkı oranı, TS EN 934-2 standardı kapsamında belirlenen sınırlar içerisinde kalmakta olup, katkının betonun dayanımını olumsuz etkilemeden istenen işlenebilirlik özelliklerini sağlaması hedeflenmiştir.

3.1.4. Isırgan lifi

Çalışmamız için hazırlamış olduğumuz ısırgan otu lifleri, literatürde doğal lif katkılı betonlar üzerine yapılmış olan önceki çalışmaların incelenip göz önünde bulundurulmasıyla beton içerisine 1 cm ve 2 cm olmak üzere iki farklı uzunlukta; %0,75, %1,5 ve %3 oranlarında olmak üzere 3 farklı oranlarda katılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu tez kapsamında üretilen numunelerimizin elde edilme yöntemleri alt başlıklarda açıklanmıştır.

3.2.1. Isırgan lifi elde edilmesi

Bu tez kapsamında oluşturulacak olan lifli beton kapsamında ısırgan otu lifleri üretilmiştir. Isırgan otlarının sap kısımları lifli bir yapıda olup odunsu kısımlarının liflerden ayrılmasıyla lifler elde edilebilmektedir. Çalışmalarımız için elde ettiğimiz lifler için Giresun ili Espiye ilçesi Akkaya köyünde yetiştirilmekte olan ısırgan otları kullanılmıştır. Isırgan otlarının saplarından ayrılan Şekil 3.1’de gösterildiği gibi tarama işlemine tabi tutulup odunsu yapısı arındırıldı.



Şekil 3.1. Isırgan lifi tarama işlemi

Başaran ve arkadaşlarının 2018’de yaptıkları çalışma referans tutularak tarama işlemi tamamlanan lifler yumuşaklık ve dayanıklılık kazanması için önceden hazırlanan sabunlu su (5gr/L) içerisinde 2 saat süreyle Şekil 3.2’de gösterildiği şekilde kaynatıldı.



Şekil 3.2. Isırgan liflerinin sabunlu su ile kaynatılması

Kaynatılıp yumuşayan ısırgan otu lifleri tekrardan tarama işlemine tabi tutulup odunsu kısımlarından tamamen arındırıldı.



Şekil 3.3. İkinci tarama işlemine tabi tutulan lifler

Şekil 3.3'teki gibi ikinci kez tarama işlemine tabi olan lifler beton karışımı için Şekil 3.4'teki gibi 1 cm ve 2 cm boyutlarında kesilerek karışımında kullanılacak oranlar için sınıflandırıldı. Kesilen liflerin içerisinde bulunabilecek küçük boyutlardaki liflerin veya lif tozlarının temizlenmesi için lifler Şekil 3.5'teki gibi elek ile elendi.



Şekil 3.4. Ölçülerek karışım uzunluklarında kesilen lifler



Şekil 3.5. Tozlardan arındırılmak için eleme işlemi yapılan kesilmiş lifler

Karışıma hazır olan lifler deneylerimizde kullanacağımız hacimce oranlar olan %0,75, %1,5 ve %3 oranlarınca sınıflandırıldı. Lifin oranlara ayrılması için sıkıştırma işlemi uygulamak için 15×15 cm boyutlarında olan kâğıt üzerine lifler serildi. Üzerine düz bir tabaka ile numune betonun ağırlığı olan 7,5 kg ağırlığa sahip yük koyuldu ve liflerin yükseklikleri Şekil 3.6'daki gibi ölçülerek oranlama yapıldı. Oranlamanın bu şekilde tercih edilmesinin nedeni, liflerin yoğunluk gibi malzemeye özgü fiziksel özelliklerinin bilinmemesidir.



Şekil 3.6. Oranlama yapılarak sınıflandırma işlemi

3.2.2. Beton karışımının hazırlanması

Çalışmalarımız için numune betonlarını Ordunun Korgan ilçesinde bulunan Korgan beton firmasının standart olarak üretmekte olduğu C30 beton karışım oranlarına göre 1 m³'lük beton hazırlatıldı. Yapılacak deneyler için gerekli olan 84 numune hazırlanırken betonun priz almaya başlamadan işlem yapılabilmesi için numune betonu kalıplara dökülene kadar transmikser betonu karıştırmaya devam etti ve Şekil 3.7'deki gibi ekip halinde çalışma yapıldı.



Şekil 3.7. Transmikserden beton alınması

Çalışmamız kapsamında farklı lif boyutu ve oranlarına sahip 7 set halinde 12’şer numune üretildi. Her üretim seti için transmikserden 12 numune kabı için gerekli beton miktarı ölçülerek ayrı bir kaba alındı. Ayrılan bu betonun içerisine set için gerekli olan ve daha önceden hazırlanmış olan lifler ayrııştırılarak beton içerisine kademeli bir şekilde eklendi. Beton üzerine eklendi liflerin homojen bir şekilde betona karışması için ilk önce şişleme yapıldı ve ardından karıştırıcı ile Şekil 3.8’de gösterildiği gibi karıştırılarak hazır hale getirildi.



Şekil 3.8. Liflerin beton içerisine katılması

Yeterince karıştırılan lifli beton karışımı numune kaplarına iki aşamalı bir şekilde yerleştirildi. İlk aşamada numune kaplarının yarısına kadar beton doldurularak şişleme ve çekiçleme işlemi yapıldı. İkinci aşamada ise yine benzer şekilde kabın geri kalanı dolduruldu ve birinci aşamadaki beton içerisine gelmeyecek şekilde Şekil 3.9'daki gibi şişleme işlemi ve ardından da çekiçleme işlemi yapılarak numune kaplarının üzeri mala ile düzlendi.



Şekil 3.9. Numune betonlarının şişlenme ve tokmaklama işlemi

Beton dökümü tamamlanan kalıplar lif set grubuna göre dizilip şekil 3.10'daki gibi her numunenin etiketi beton üzerine yerleştirildi ve sınıflandırılarak uygun bir yerde betonun ilk prizini alması beklenildi.



Şekil 3.10. Etiketlenip lif özelliklerine göre sınıflandırılan numuneler

3.2.3. Numunelerin kürlenmesi

Beton kürü betonun kalıbına yerleştirildikten sonra betonun prizini alana kadar geçen süreçte su kaybının meydana gelmesini engellemeyi amaçlar. Ayrıca su ve çimentonun tepkimesi sonucu oluşan kimyasal reaksiyonların zamanında meydana gelmesini sağlayarak betonda çatlamların oluşmasını minimize eder.

Bu çalışma kapsamında beton numunelerine 2 farklı kürleme yapılmıştır (Şekil 3.11) ve farklı kür koşullarındaki sonuçlar araştırılmıştır. Numunelerin yarısına buhar odasında bekletilerek buhar kürü (Şekil 3.12), diğer yarısına da su havuzunda bekletilerek su kürü uygulanmıştır (Şekil 3.13). Beton döküm sahasında uygun bir odada ilk prizini alan numuneler numune kaplarından dikkatlice çıkarılıp 7, 28 ve 60 gün bekletilmek üzere kür havuzuna yerleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Numune kaplarından çıkarılıp kürleme için sınıflandırılan numuneler



Şekil 3.12. Buhar kürü odası



Şekil 3.13. Su kürü havuzu

3.2.4. Taze beton deneyleri

Bu çalışma kapsamında betonun taze haliyle ilgili sadece çökme (slump) deneyi yapılmıştır.

3.2.5. Çökme (slump) deneyi

Betonun kıvamını yani işlenebilirliğini ölçmek için TS EN 12350-2 standartlarına uygun olarak çökme (slump) deneyi yapılmıştır. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi beton numune kaplarına yerleştirilmeden önce tepsi üzerine huni yerleştirildi. Huninin her iki tarafında bulunan ayak yerlerine basılarak sabitlendi ve huninin 1/3'i betonla doldurulduktan sonra şişleme işlemi yapılmıştır. Aynı işlem iki sefer daha tekrarlanarak huni tamamen doldurulmuş ve huninin üstündeki beton seviyesi düzlenmiştir. Bu işlemlerin ardından huni yavaşça yukarı doğru çekilerek beton tepsi üzerine boşaltıldı. Huni daha sonra ters bir şekilde tepsi üzerine yerleştirilip huninin en üst kısmı ile beton kütesinin en yüksek noktası arasındaki mesafe Şekil 3.15'te görüldüğü gibi ölçülerek çökme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.14. Slump hunisi ve tepsisi



Şekil 3.15. Slump değeri ölçümü

3.2.6. Sertleşmiş beton deneyleri

Bu çalışma kapsamında sertleşmiş beton için; birim hacim ağırlık, su emme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

3.2.6.1. Birim hacim ağırlık tayini

Hazırlanan her bir numune için, 28 günlük kürleme süresinin tamamlanmasının ardından birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra ilk olarak 105 °C sıcaklıktaki etüvde sabit kütleye ulaşmaya kadar kurutulmuş ve kuru haldeki kütleleri (etüv kurusu ağırlıkları) belirlenmiştir. Ardından, aynı numuneler tekrar su içerisine bırakılarak 24 saat süreyle bekletilmiş ve bu sürenin sonunda yüzeylerindeki fazla su alınarak doymun haldeki ağırlıkları tespit edilmiştir (Şekil 3.16). Yapılan bu işlemler, TS EN 12390-4 standardına uygun olarak yürütülmüştür.

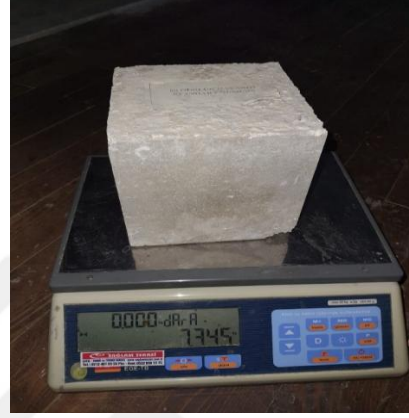
Yapılan iki ölçüm arasındaki fark suyun özgül ağırlığının 1 kg/m³ olmasından dolayı beton içerisindeki suyun hacmini, bu da bize betonun boşluk hacmini verir ve birim hacim ağırlık

$$d = \frac{m_2}{V - (m_1 - m_2)} \quad (3.1)$$

Formülü ile hesaplanır. Burada m_2 numunenin kuru ağırlığını, m_1 suya doymun ağırlığını, V ise numunenin hacmini ifade eder.



(a)



(b)

Şekil 3.16. (a) Etüv fırını (b) hassas terazi görselleri

3.2.6.2. Su emme deneyi

Su emme deneyi TS EN 13755 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Su emme miktarı numuneye giren su miktarının, numunenin kuru ağırlığına bölünmesi ile elde edilip yüzdesel olarak ifade edilir.

Numuneler etüvde kurutulularak sabit kütleyle gelinceye kadar işleme tabi tutulup kuru ağırlıklar bulunmuştur (m_2). Kurutulan numuneler 24 saat boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Su içerisinde çıkarılan numunelerin yüzeyleri bir bez yardımı ile kurutulduktan sonra numunelerin suya doymun ağırlıkları ölçülmüştür (m_1). Ağırlıkça su emme yüzdeleri

$$P_a = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \times 100 \quad (3.2)$$

Denklemleri ile hesaplanmıştır. P_a su emme yüzdesini, m_1 doymun numune kütlesini (gr), m_2 kuru numune kütlesini (gr) simgelemektedir.

3.2.6.3. Basınç dayanımı testi

Laboratuvar ortamındaki kürleme işlemleri tamamlanan numuneler 7., 28. ve 60. günlerin sonunda TS EN 12390-3 standardına göre test edilmiştir. 15×15×15 ölçülerindeki standart numuneler Şekil 3.17'deki gibi test cihazına yerleştirilerek numunelere basınç dayanım testi yapılmıştır. Basınç dayanım değerleri cihaz ekranından okunmuştur.

Hazırlanmış beton numunelere tek eksenli basınç mukavemeti testi yapılmaktadır. Pres makinesi ile kırımı yapılan numunelerin kırılmasının yaşandığı andaki basınç mukavemeti

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

denklemleri ile hesaplanır. σ ile basınç gerilmesi, P ile eksenel yük ve A ile numunenin kesit alanı ifade edilir.



Şekil 3.17. Betonun pres makinesi ile kırımı

3.2.6.4. Çekme dayanımı

Betonarme yapılarda gerekli olan çekme mukavemeti, genel olarak betonarme donatısı (çelik) ile sağlanmaktadır. Ancak, beton numuneler içinde ayrıca çekme dayanımı hesaplamaları yapılabilir. Türk Standartlarından TS EN 206'ya göre, betonun çekme dayanımı genellikle basınç dayanımının yaklaşık %10'u olarak kabul edilmekte ve bu değer tasarım aşamasında pratik bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır.

$$f_t = \frac{1}{10} \times f_c \quad (3.4)$$

Çekme dayanımı 3.2'deki formül ile hesaplanır. f_t çekme dayanımını ve f_c basınç dayanımını simgelemektedir.

3.2.6.5. Eğilme dayanımı

Türk Standartlarından TS EN 206'ya göre, beton numunelerin eğilme dayanımları, basınç dayanımının yaklaşık olarak 1/6'sı oranında kabul edilmekte olup, bu değer betonun tasarım ve performans değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$f_b = \frac{1}{6} \times f_c \quad (3.5)$$

Eğilme dayanımı Denklem (3.3) ile hesaplanır. Buradaki f_b eğilme dayanımını, f_c basınç dayanımını simgelemektedir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Araştırmalarımız için hazırladığımız numune beton karışımlarının küp kalıplara alınmasının ardından çeşitli deney sonuçları bu bölümde verilmekte ve sonuçlar tartışılmaktadır. Doğal yollar ile temin edilen ısırgan otu lifi beton karışımına katkı olarak katılıp karışımın kalıplara yerleşimi hazır betonun temin edildiği Korgan Beton firmasının hazır beton tesisinde gerçekleştirilmiş ve numuneler üzerinde fiziksel testler Kar-Be-Tek Laboratuvar firmasında yapılmıştır.

4.1. Fiziksel ve Mekanik Deneyler

4.1.1. Elek Analizi

Isırgan otu lifi katkılı beton karışımının yenilikçilik ve sürdürülebilirlik açısından performansını değerlendirebilmek amacıyla, standart beton numuneleri ile farklı lif oranlarına, lif uzunluklarına ve kürleme koşullarına sahip numunelere ait deney sonuçları çizelgeler hâlinde sunulmuştur. Deneysel verilerin analizine geçilmeden önce, beton karışımında kullanılan agregaların tane dağılımını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen elek analizleri TS EN 933-1 “Agregaların geometrik özelliklerinin tayini” standardına uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablolar 4.1-4.4’te sunulmuş, karışımın granülometri eğrisi ise Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Kırma kum agrega için elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Kalan Malzeme (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Kalan Yüzde (%)	Geçen Yüzde (%)
31,5	0	0	0,00	100,00
22,4	0	0	0,00	100,00
16	0	0	0,00	100,00
11,2	280	280	25,45	74,55
8	150	430	39,09	60,91
4	202	632	57,45	42,55
2	221	853	77,55	22,45
1	115	968	88,00	12,00
0,5	71	1039	94,45	5,55
0,25	61	1100	100,00	0,00
0,15	0	1100	100,00	0,00
0,125	0	1100	100,00	0,00
0,063	0	1100	100,00	0,00

Tablo 4.2. 5/15 İnce çakıl agrega için elek analizi sonuçları

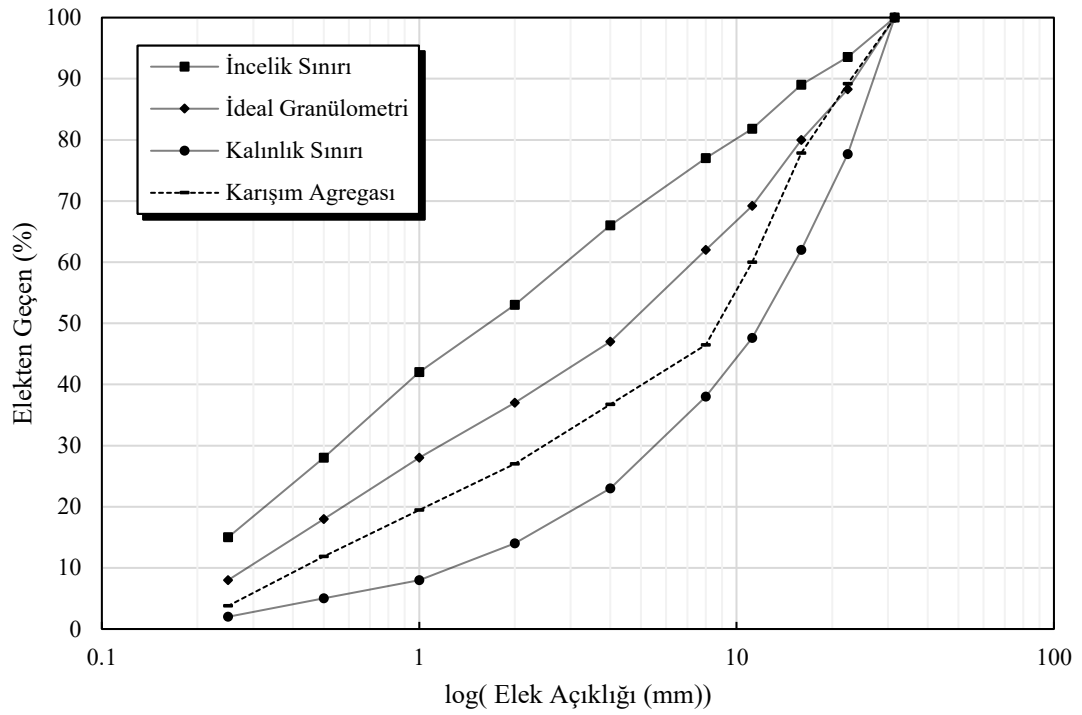
Elek Açıklığı (mm)	Kalan Malzeme (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Kalan Yüzde (%)	Geçen Yüzde (%)
31,5	0	0	0,00	100,00
22,4	0	0	0,00	100,00
16	0	0	0,00	100,00
11,2	190	190	76,00	24,00
8	60	250	100,00	0,00
4	0	250	100,00	0,00
2	0	250	100,00	0,00
1	0	250	100,00	0,00
0,5	0	250	100,00	0,00
0,25	0	250	100,00	0,00
0,15	0	250	100,00	0,00
0,125	0	250	100,00	0,00
0,063	0	250	100,00	0,00

Tablo 4.3. 15/25 İnce çakıl agrega için elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Kalan Malzeme (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Kalan Yüzde (%)	Geçen Yüzde (%)
31,5	0	0	0,00	100,00
22,4	365	365	73,00	100,00
16	135	500	100,00	100,00
11,2	0	500	100,00	0,00
8	0	500	100,00	0,00
4	0	500	100,00	0,00
2	0	500	100,00	0,00
1	0	500	100,00	0,00
0,5	0	500	100,00	0,00
0,25	0	500	100,00	0,00
0,15	0	500	100,00	0,00
0,125	0	500	100,00	0,00
0,063	0	500	100,00	0,00

Tablo 4.4. Tüm karışım agregası için elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Kalan Malzeme (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Kalan Yüzde (%)	Geçen Yüzde (%)
31,5	0	0	0,00	100,00
22,4	265	265	14,32	85,68
16	235	500	27,03	72,97
11,2	201	701	37,89	62,11
8	242	943	50,97	49,03
4	209	1152	62,27	37,73
2	271	1423	76,92	23,08
1	155	1578	85,30	14,70
0,5	71	1649	89,14	10,86
0,25	101	1750	94,59	5,41
0,15	100	1850	100,00	0,00
0,125	0	1850	100,00	0,00
0,063	0	1850	100,00	0,00



Şekil 4.1. Karışım agregası granülometri eğrisi

4.1.2. Çökme (slump) deneyinin sonuçları

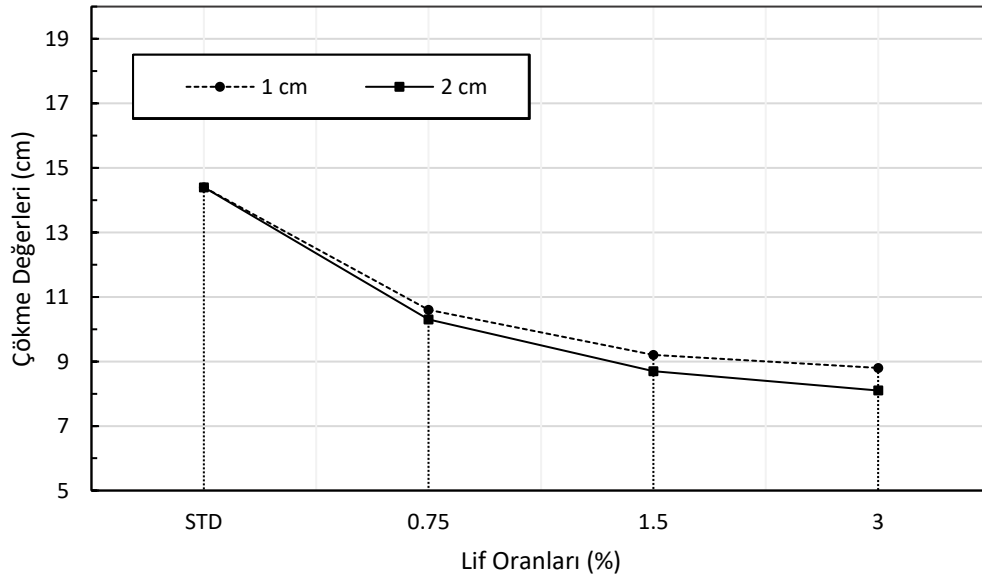
Çalışmamız kapsamında hazırlanan yedi farklı beton karışımı için numuneler kalıplara yerleştirilmeden önce slump (çökme) deneyi gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar Tablo 4.5'te sunulmuştur. Deney sonuçlarına göre, referans (standart) beton numunesinin slump değeri 14 cm olarak ölçülmüştür. Beton karışımına ısırgan otu liflerinin eklenmesiyle birlikte hem lif oranının hem de lif uzunluğunun artmasıyla

Çökme değerlerinde kademeli bir azalma gözlenmiştir. Şekil 4.2’de verilen grafikte de görüldüğü gibi 1 cm uzunluğunda ve %3 oranında lif katkısı içeren numunenin çökme değeri 8,5 cm olarak ölçülürken, 2 cm uzunluğunda ve yine %3 lif katkısı içeren numunede bu değer 8,1 cm’ye kadar düşmüştür.

Türk Standardı TS EN 206’ya göre, çökme değeri betonun kıvam sınıfının belirlenmesinde temel bir kriter olup, betonun yerleştirme kolaylığı ve uygulama performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Çalışma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda, referans beton S3 kıvam sınıfına (10–15 cm) dahil olurken, lif katkılı beton karışımları genel olarak S2 kıvam sınıfında (5–10 cm) yer almıştır.

Tablo 4.5. Slump Değerleri

Numune	ökme Değeri (cm)
STD	14
1B0,75	10,6
1B1,5	9,1
1B3	8,5
2B0,75	10,3
2B1,5	8,7
2B3	8,1



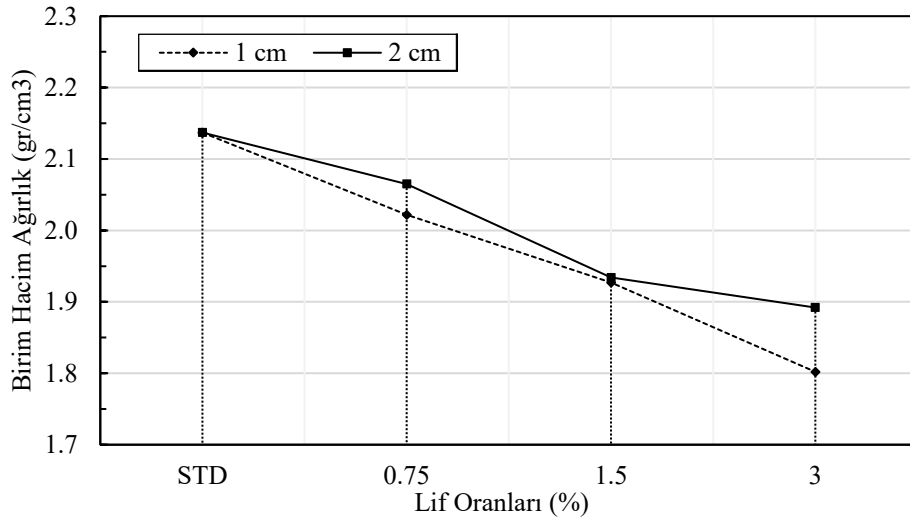
Şekil 4.2. Lif uzunluğu ve oranının artmasıyla oluşan çökme değerindeki değişim grafiği

4.1.3. Birim hacim ağırlık deneyinin sonuçları

Etüv kurusu ağırlıkları ve kuru yüzey suya doymun ağırlıkları bulunan numunelerin birim hacim ağırlıkları hesaplanmış ve bunlar Tablo 4.6'da ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Elde edilen verilere göre, lif oranının artmasıyla birlikte betonun birim hacim ağırlığında belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Özellikle 1 cm uzunluğundaki ısırgan otu liflerinin %3 oranında katkı sağlandığı numunede, BHA değeri 1,802 gr/cm³ olarak ölçülmüş olup, bu değer standart betonun (2,137 gr/cm³) oldukça altında kalmaktadır. Benzer şekilde, 2 cm lif uzunluğuna sahip ve %3 oranında lif içeren numunede de birim hacim ağırlığında belirgin düşüş gözlenmiştir. Bu azalmanın, ısırgan otu liflerinin yapısal olarak hafif ve gözenekli yapısına bağlı olarak beton matrisi içerisinde mikro boşlukların artmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Tablo 4.6. Lif katkısına göre elde edilen veriler

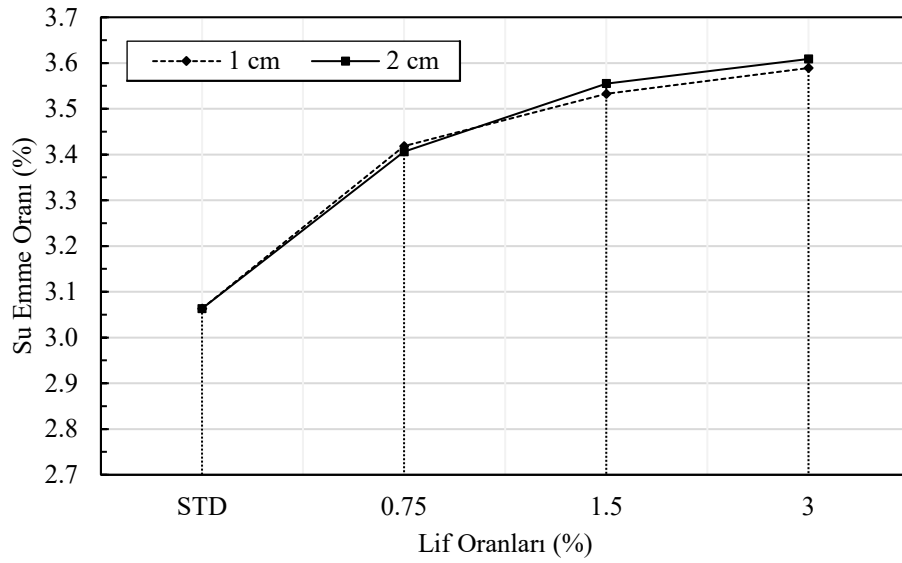
Katkı Miktarı	Etüv Kurusu Ağırlık	Kuru Yüzey Suya Doygun Ağırlık	Hacim	BHA (gr/cm ³)	Su Emme (%)
STD	7,345	7,570	3,110	2,137	3,063
1S%0,75	7,255	7,503	3,196	2,022	3,418
1S %1,5	7,360	7,620	3,366	1,927	3,533
1S %3	7,300	7,562	3,536	1,802	3,589
2S%0,75	7,34	7,590	3,171	2,065	3,406
2S %1,5	7,595	7,865	3,446	1,934	3,555
2S %3	7,260	7,522	3,371	1,892	3,609



Şekil 4.3. Lif oranına göre birim hacim ağırlık değerleri

4.1.4. Su emme deneyinin sonuçları

Yapılan deneylerin sonuçları tablo 4.6’da verilmiş olup yüzde su emme deney sonuçları Şekil 4.4’te verilmiştir. Standart beton numunesinde %3,06 olarak ölçülen su emme oranı, lif katkıları numunelerde %3,40 ile %3,61 arasında değişmiş ve en yüksek değer 2 cm uzunluğunda ve %3 oranında lif katkısı bulunan numunede %3,61 olarak tespit edilmiştir. Bu durum, liflerin beton içerisindeki mikro yapıyı etkileyerek, suyun adsorpsiyon kapasitesinin artmasına neden olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.4. Lif oranına göre su emme oranları

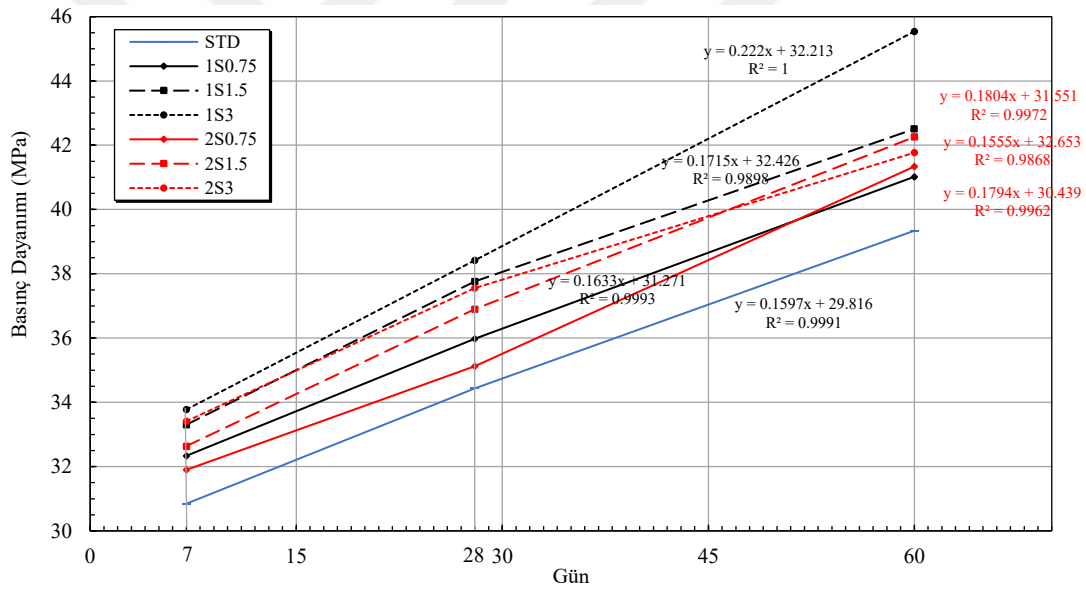
4.1.5. Basınç mukavemeti

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneylerinin sonuçları, kullanılan beton katkı maddelerine bağlı olarak Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de sunulmuş; karşılaştırmalı analizler ise Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da grafiksel olarak verilmiştir. Deney süreleri ilerledikçe, yapı malzemelerine ilişkin temel bilgiler doğrultusunda numunelerin basınç dayanımlarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu süreçte, malzemelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen gelişmeler, yapı malzemelerinin dayanıklılığı ve performansı hakkında önemli veriler ortaya koymuştur. Özellikle lif katkıları numunelerde lif oranının artmasıyla birlikte basınç dayanımında gözlenen yükseliş, yapı mühendisliği alanında dikkate değer katkılar sağlamaktadır.

7, 28 ve 60 günlük basınç dayanımı sonuçları değerlendirildiğinde, standart numuneler de dâhil olmak üzere tüm lif katkı oranları ve lif uzunluklarında, su havuzu küründe bekletilen numunelerin buhar odasında kürlenene numunelere kıyasla daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, ısırgan otu lifi katkısının, genel olarak betonun basınç dayanımını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.7. Su havuzu kürü uygulanmış numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri (MPa)

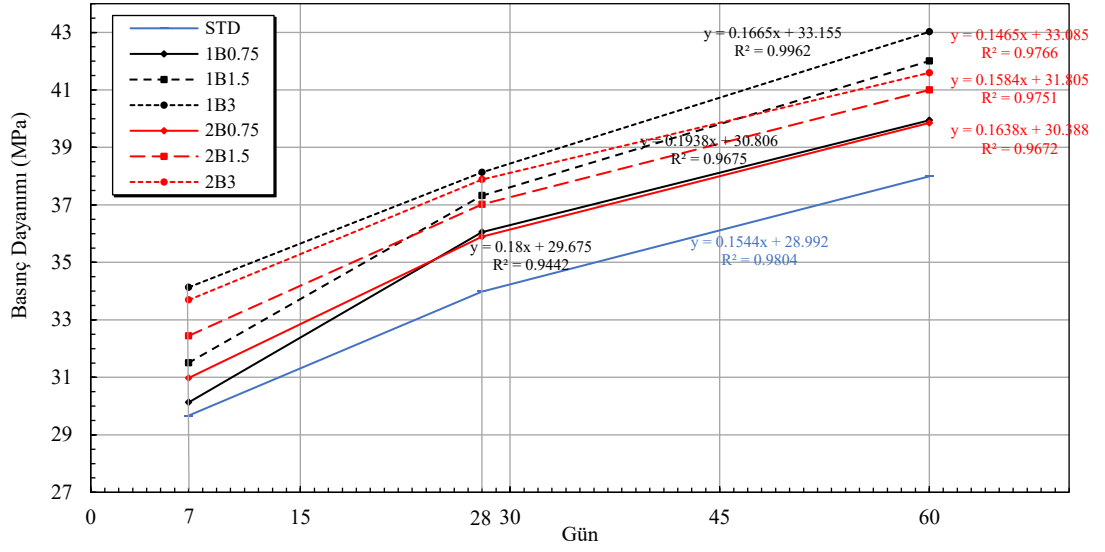
Reçete Tipi	7 Günlük	28 Günlük	60 Günlük
SSTD	30,845	34,437	39,341
1S0,75	32,336	35,975	41,020
1S1,5	33,304	37,762	42,506
1S3	33,775	38,417	45,540
2S0,75	31,899	35,126	41,338
2S1,5	32,636	36,896	42,258
2S3	33,410	37,558	41,768



Şekil 4.5. Su havuzu kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama basınç değerlerinin karşılaştırılması.

Tablo 4.8. Buhar odası kürü uygulanmış numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri (MPa)

Reçete Tipi	7 Günlük	28 Günlük	60 Günlük
BSTD	29,670	33,985	37,994
1B0,75	30,127	36,053	39,944
1B1,5	31,507	37,321	42,006
1B3	34,132	38,130	43,021
2B0,75	30,977	35,899	39,853
2B1,5	32,445	37,014	40,999
2B3	33,691	37,880	41,597



Şekil 4.6. Buhar odası kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama basınç değerlerinin karşılaştırılması

Su havuzu ve buhar odası kürü uygulanan numunelere ait grafikler, lif katkılı numunenin zaman içindeki basınç dayanıklılıklarını karşılaştırmaktadır. Kontrol numuneleri (SSTD ve BSTD), her iki grafikte de en düşük basınç değerlerine sahipken, lif oranı arttıkça numunelerin basınç değerlerinin zamanla yükseldiği gözlemlenmiştir. Özellikle, %3 lif oranına sahip numuneler (1S3 ve 2S3, 1B3 ve 2B3), 60. günde en yüksek basınç değerlerine ulaşmıştır. Her iki grafikte de numunelerin zaman içindeki basınç değerlerindeki artış ve azalış eğilimleri açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu veriler hem su havuzu hem de buhar odası küründe lif takviyeli numunelerin dayanıklılık performansının zamanla nasıl değiştiğini ve lif katkısının bu performans üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Numunelerin 7 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, tüm lif katkılı numunelerin standart numunelere kıyasla eşit ya da daha yüksek dayanım değerleri gösterdiği görülmüştür. En yüksek dayanım, buhar odasında kürlenmiş 1 cm uzunluğunda ve %3 oranında ısırgan otu lifi içeren numunede elde edilmiş olup, bu numune ortalama 34,13 MPa basınç dayanımı göstermiştir. Oransal olarak en fazla dayanım artışı ise, %15 ile yine 1 cm uzunluğunda ve %3 ısırgan otu lifi katkılı, su havuzu kürüne tabi tutulmuş numunede gözlemlenmiştir.

Numunelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, tüm numunelerin dayanım değerlerinin standart numunenin üzerinde olduğu belirlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı, su havuzunda kürlenmiş 1 cm uzunluğunda lif içeren ve %3 oranında lif katkısı bulunan numunede ortalama 38,42 MPa olarak ölçülmüştür. Oransal açıdan en fazla dayanım artışı ise %12,2 ile, buhar odasında kürlenmiş 1 cm uzunluğunda %3 ısırgan otu lifi katkılı ve buhar odası kürü uygulanmış numunede gerçekleşmiştir.

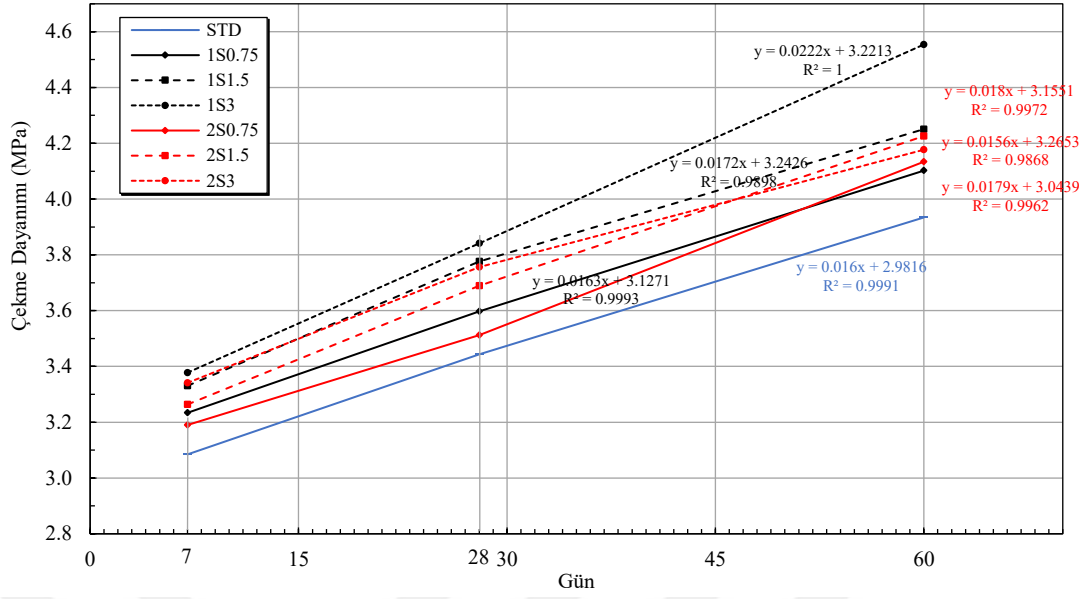
Numunelerin 60 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, önceki sonuçlarla tutarlı olarak, tüm numunelerin dayanım değerlerinin standart numunenin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı ise, su havuzunda kürlenmiş 1 cm uzunluğundaki liflerden %3 oranında katkı içeren numunede elde edilmiş; bu numune, standart numuneye kıyasla %15,6 oranında artışla ortalama 45,5 MPa basınç dayanımı göstermiştir.

4.1.6. Çekme Dayanımı

Deney sonuçları doğrultusunda, farklı deney günlerinde elde edilen çekme dayanımı verileri Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da sunulmuş; karşılaştırmalı değerlendirmelere ise Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de yer verilmiştir. Çekme dayanımı değerleri, numunelerin yaşı arttıkça belirgin bir şekilde yükselmiş; ayrıca lif içeriğindeki artışla birlikte, standart numunelere kıyasla daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı değeri, su havuzu kürüne tabi tutulmuş, 1 cm uzunluğunda ve %3 oranında lif katkısı içeren numunede 4,55 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.9. Su havuzu kürü uygulanmış numunelerin ortalama çekme dayanımı değerleri (MPa)

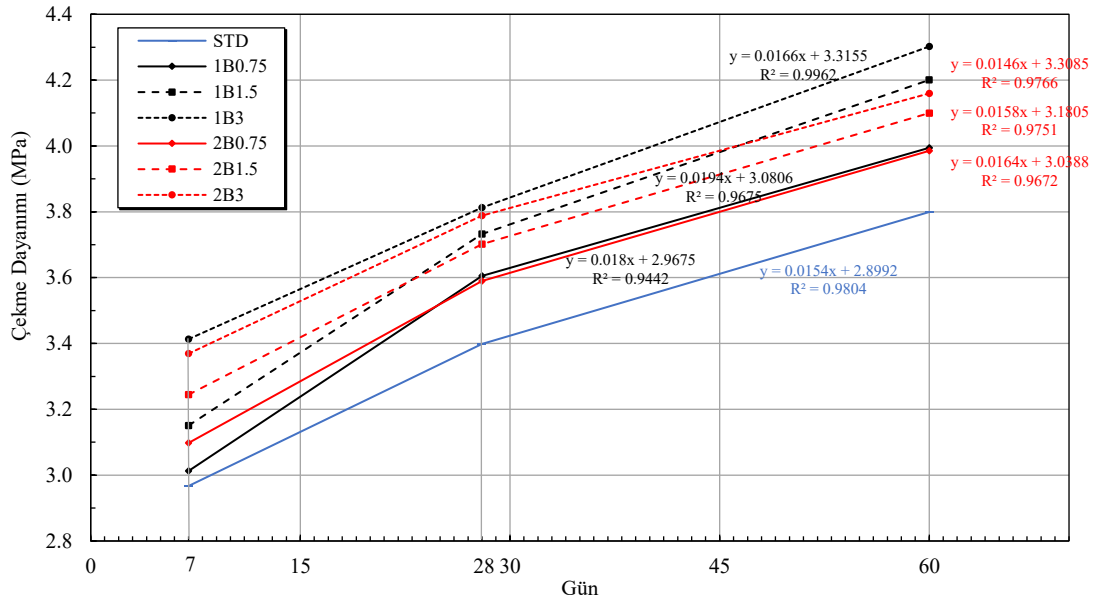
Reçete Tipi	7 Günlük	28 Günlük	60 Günlük
SSTD	3,085	3,444	3,934
1S0,75	3,234	3,597	4,102
1S1,5	3,330	3,776	4,251
1S3	3,378	3,842	4,554
2S0,75	3,190	3,513	4,134
2S1,5	3,264	3,690	4,226
2S3	3,341	3,756	4,177



Şekil 4.7. Su havuzu kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 4.10. Buhar odası kürü uygulanmış numunelerin ortalama çekme dayanımı değerleri (MPa)

Reçete Tipi	7 Günlük	28 Günlük	60 Günlük
BSTD	2,967	3,398	3,799
1B0,75	3,013	3,605	3,994
1B1,5	3,151	3,732	4,201
1B3	3,413	3,813	4,302
2B0,75	3,098	3,590	3,985
2B1,5	3,245	3,701	4,100
2B3	3,369	3,788	4,160



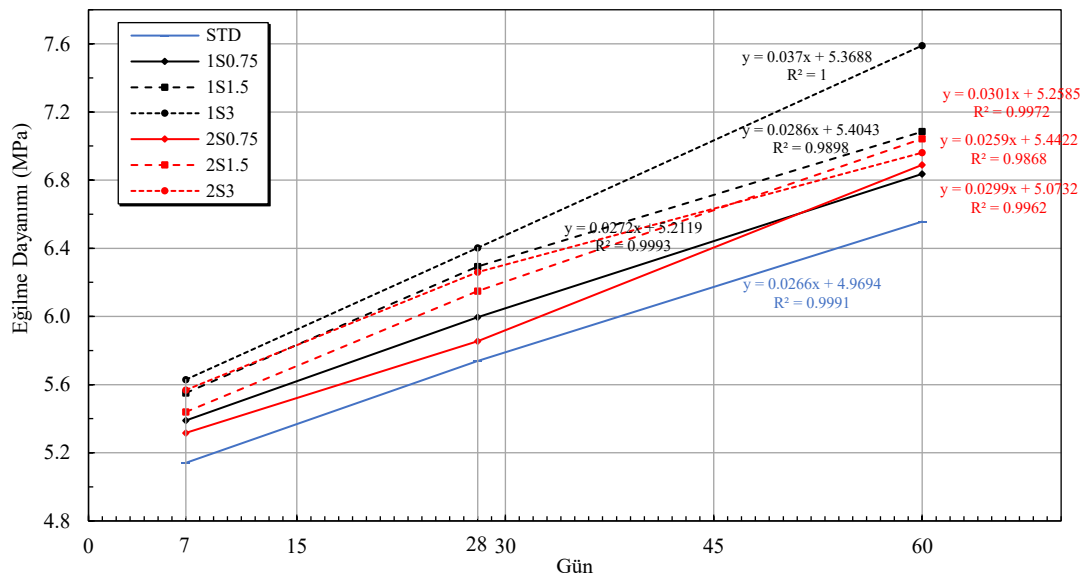
Şekil 4.8. Buhar odası kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

4.1.7. Eğilme Dayanımı

Deneylerden elde edilen veriler, farklı günlerde gerçekleştirilen ölçümlerle eğilme dayanımı değerlerini ortaya koymuş; bu veriler Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de sunulmuş, karşılaştırmalı analizler ise Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da grafiksel olarak verilmiştir. Elde edilen bulgular, numune yaşının artmasıyla birlikte eğilme dayanımında da belirgin bir artış meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca lif içeriğinin artmasıyla, standart numunelere kıyasla daha yüksek dayanım değerlerine ulaşılmıştır. En yüksek eğilme dayanımı, su havuzu kürüne tabi tutulmuş, %3 oranında lif katkısı içeren ve 1 cm uzunluğundaki lifleri barındıran numunede 7,59 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.11. Su havuzu kürü uygulanmış numunelerin ortalama eğilme dayanımı değerleri (MPa)

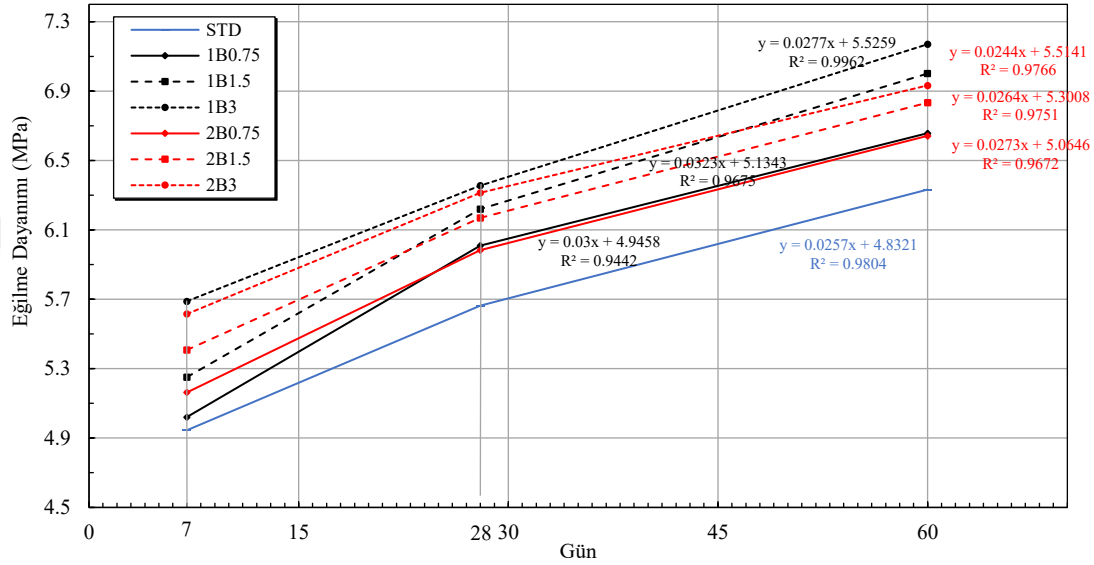
Reçete Tipi	7 Günlük	28 Günlük	60 Günlük
SSTD	5,141	5,740	6,557
1S0,75	5,389	5,996	6,837
1S1,5	5,551	6,294	7,084
1S3	5,629	6,403	7,590
2S0,75	5,316	5,854	6,890
2S1,5	5,439	6,149	7,043
2S3	5,568	6,260	6,961



Şekil 4.9. Su havuzu kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama eğilme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 4.12. Buhar odası kürü uygulanmış numunelerin ortalama eğilme dayanımı değerleri (MPa)

Reçete Tipi	7 Günlük	28 Günlük	60 Günlük
BSTD	4,945	5,664	6,332
1B0,75	5,021	6,009	6,657
1B1,5	5,251	6,220	7,001
1B3	5,689	6,355	7,170
2B0,75	5,163	5,983	6,642
2B1,5	5,408	6,169	6,833
2B3	5,615	6,313	6,933



Şekil 4.10. Buhar odası kürü uygulanmış lif katkılı numunelerin ortalama eğilme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

4.2. Teknolojik deneyler

Farklı oranlarda, farklı lif uzunluklarında ve çeşitli kürleme koşullarında hazırlanan beton numuneleri üzerinde çeşitli teknolojik testler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler yalnızca 28 günlük kürleme süresi tamamlanmış numunelere uygulanmıştır. Taramalı elektron mikroskopu (SEM), enerji dispersif spektrometre (EDS) ve diferansiyel taramalı kalorimetre-gravimetrik analiz (DSC-TG) çalışmaları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

X-Işını floresansı (XRF) analizi ise Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

4.2.1. X-Işını floresansı analizi (XRF)

Tez kapsamında, kontrol (standart) numunesi ve 1 cm uzunluğunda lif katkılı, buhar odasında kürlleme yapılmış numuneler (1BSTD, 1B0,75, 1B1,5, 1B3) analize tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları, numunelerde bulunan majör bileşikler dikkate alınarak Tablo 4.13'te sunulmuştur. Numune analizleri sonucunda, bileşen miktarı düşük olan bazı elementlerin bileşiklerinin toplamı genel olarak %0,25'in altında kalmış ve bu değerler tabloda diğer sütunu altında verilmiştir.

X-Işını Floresans analizi verileri değerlendirildiğinde, lif katkısının çimento matrisinin kimyasal bileşimi üzerinde önemli etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Standart numune ile karşılaştırıldığında, lif katkı oranının artışıyla birlikte özellikle SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi bağ yapısında kritik rol oynayan oksitlerin içeriklerinde belirgin artışlar meydana gelmiştir. Bu artışlar, ısırgan otu lifinin selülozik yapısına bağlı olarak sistem içerisine eklenen doğal mineral fazlardan kaynaklanabileceği gibi, aynı zamanda bu liflerin çimento matrisine fiziksel olarak entegre olurken kimyasal katkı sağlayabildiğini de göstermektedir. Özellikle SiO_2 içeriğindeki artış, bağlayıcı yapı içerisinde silika fazlarının daha baskın hale geldiğini ve bu fazların hidrasyon ürünleriyle etkileşime girerek daha kompleks, yoğun bir matris oluşumuna katkı sunduğunu düşündürmektedir.

İncelenen tüm numunelerde kalsiyum oksit (CaO) oranı yüksek seviyelerde ölçülmüş olup, bu durum çimento esaslı malzemelerde beklenen bir sonuçtur. CaO , çimento hidrasyonu sürecinde kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) oluşumunda temel rol oynadığı için betonun dayanımı açısından kritik bir bileşendir. Ancak lif katkısı oranı arttıkça CaO miktarında hafif bir azalma gözlemlenmiş, bu da liflerin çimento matrisindeki fiziksel dağılımı etkileyerek bağlayıcı fazın yoğunluğunu sınırlayabileceğini düşündürmektedir.

Silikat (SiO_2) içeriği, lif katkı oranıyla birlikte artış göstermiştir. SiO_2 'nin hidrasyon sürecinde C-S-H oluşumunu destekleyerek betonun sertliğini ve uzun vadeli dayanımını artırdığı bilinmektedir. Benzer şekilde, lif katkısının artmasıyla birlikte

alüminyum oksit (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) miktarlarında da artış tespit edilmiştir. Bu bileşikler, betonun işlenebilirliği ve mekanik performansı üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır.

Kükürt trioksit (SO_3) oranı da lif katkısı ile paralel olarak yükselmiştir. SO_3 'ün belirli bir oranın üzerinde bulunması, betonun sülfat dayanımı açısından olumsuzluk teşkil edebileceği için dikkatle değerlendirilmelidir. Magnezyum oksit (MgO) oranındaki artış ise düşük konsantrasyonlarda olumlu etkiler yaratabilirken, yüksek oranlarda hacim değişimlerine ve çatlak oluşumuna neden olabileceği için kontrol altında tutulmalıdır.

Potasyum oksit (K_2O), sodyum oksit (Na_2O) ve titanyum dioksit (TiO_2) gibi ikincil bileşikler ise düşük oranlarda bulunmuş olup, betonun kimyasal stabilitesi açısından risk teşkil etmemektedir. Özellikle Na_2O ve K_2O 'nun alkali-agrega reaksiyonları (AAR) açısından izlenmesi gerekse de analiz sonuçlarına göre bu bileşiklerin içerikleri sınır değerlerin oldukça altında kalmıştır.

Bu analiz, lif katkısının beton içerisindeki kimyasal bileşen dağılımını etkilediğini ve bazı bileşiklerin oranlarında olumlu yönde değişimler sağladığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, özellikle SO_3 ve MgO gibi bileşiklerin artışı, uzun vadeli dayanım ve dayanıklılık açısından dikkatle izlenmesi gereken parametreler arasında yer almaktadır.

Tablo 4.13. Numunelerin kimyasal bileşen analizi sonuçları

Numune	Bileşen (%)									
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Diğer
BSTD	46,11	8,16	2,36	1,61	1,04	0,74	0,40	0,21	0,09	0,24
1B0,75	45,73	8,62	2,50	1,65	0,82	0,76	0,45	0,25	0,10	0,25
1B1,5	45,68	8,77	2,59	1,67	1,25	0,78	0,45	0,23	0,11	0,24
1B3	44,72	9,84	2,96	1,82	1,50	0,86	0,53	0,32	0,13	0,25

Yapılan XRF analizleri doğrultusunda, %1,5 oranında lif katkısı içeren numunenin kimyasal bileşim açısından en dengeli yapı profiline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu numune, bağlayıcı fazların oluşumu için gerekli olan CaO içeriğini yeterli düzeyde korurken, silikat ve alüminat gibi destekleyici oksitleri optimum seviyede artırarak

çimento matrisinin kimyasal bütünlüğünü güçlendirmiştir. Buna karşılık, %0,75 katkılı numune gelişen bir yapı sunsa da bu zenginliği yeterince sağlayamamış; %3 katkı ise oksitler arası oransal dengeyi bozarak yapısal kararlılığı olumsuz yönde etkilemiştir. Standart numunede CaO/SiO_2 oranı 5,65, 1B0,75 numunesinde 5,31, 1B1,5 numunesinde 5,21 olurken 1B3 numunesinde 4,54 olmuştur.

Bu bağlamda, %1,5 katkı oranı kimyasal denge ve bağlayıcılık açısından en uygun katkı düzeyi olarak değerlendirilmektedir.

4.2.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

SEM analizi kapsamında, numunelerin iç kısımlarından örnek parçalar alınarak mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Numune parçaları, küçük kesitler halinde hazırlanmış ve karbon kaplama işlemi uygulanarak elektron mikroskobuna yerleştirilmiştir. Numunelerin vakumlanması sonrasında, belirlenen bölgelerden görüntüler alınmış ve bu görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

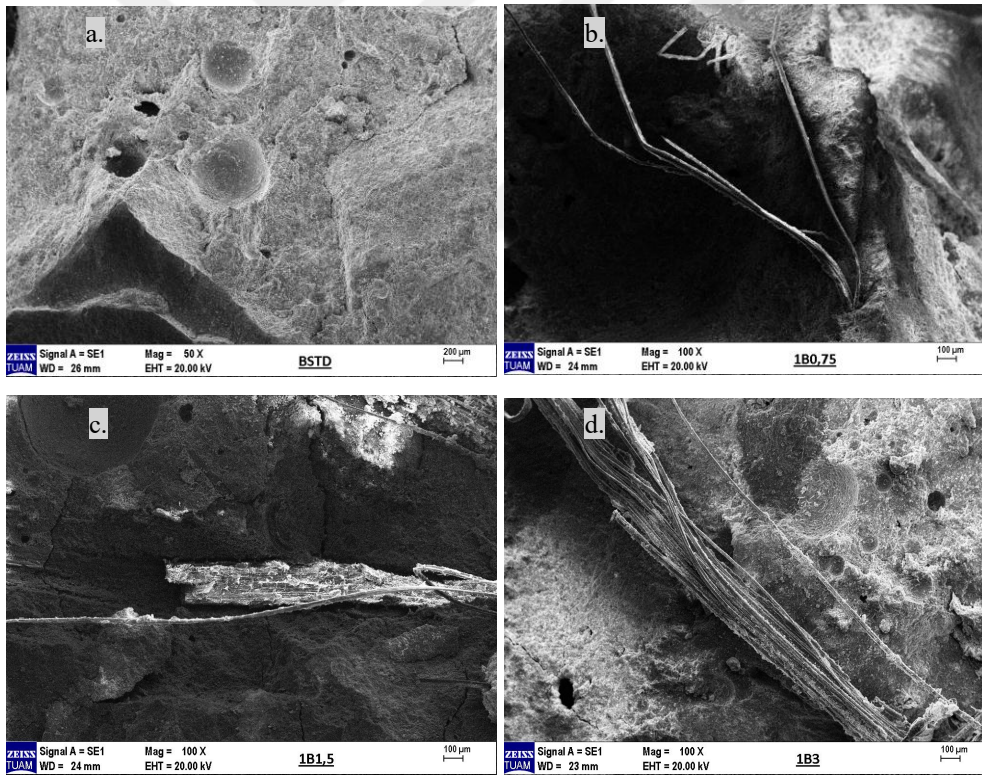
Buhar kürüne tabi tutulmuş numuneler üzerine yapılan incelemelere göre lif katkısı olmayan BSTD numunelerinde yapı oldukça gözenekli ve zayıf bir matris yapısına sahiptir. Bu durum, ısırgan otu liflerinin çimento matrisine olan katkısını açıkça ortaya koymaktadır.

Lif katkılı numunelerden 1B0,75 ve 1B1,5 numunelerinde liflerin çimento matrisiyle olan fiziksel bağlarının oldukça iyi olduğu, lif çevresinde C-S-H jeli oluşumlarının gözlemlendiği tespit edilmiştir. Özellikle 1B0,75 numunesinde liflerin düzgün dağıldığı görülmektedir.

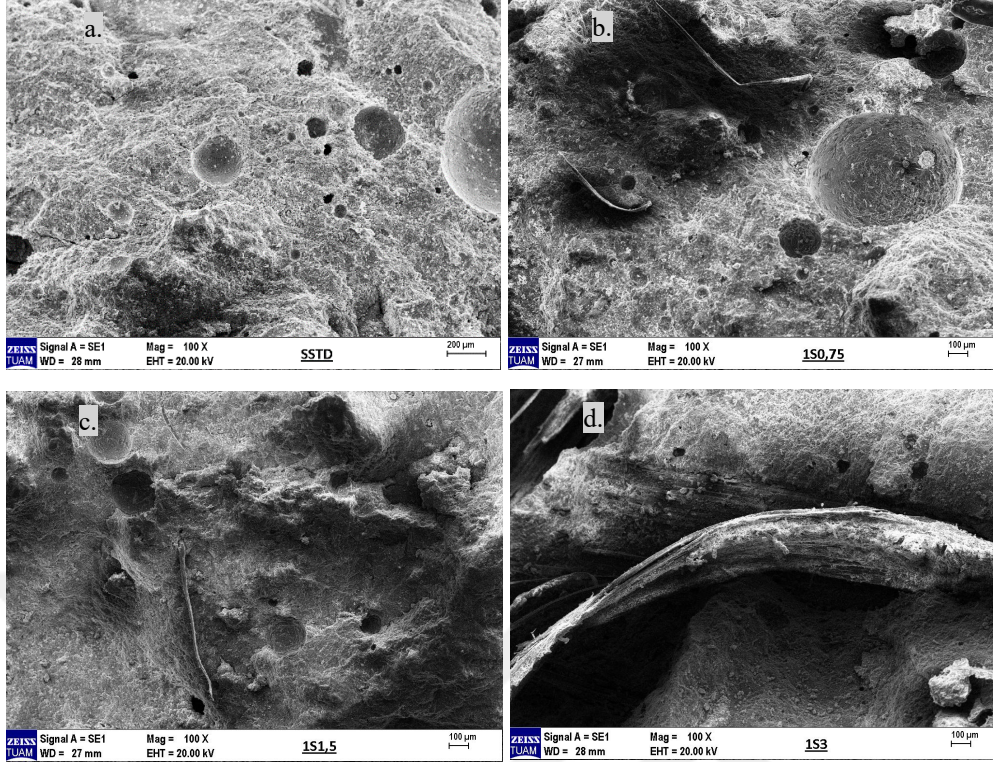
1B3 numunesinde ise lif miktarının artmasına bağlı olarak lif yoğunluğunun fazla olduğu, ancak bu durumun bazı bölgelerde boşluk oluşumuna neden olduğu anlaşılmaktadır. Lif yüzeyinde hidrasyon ürünlerinin birikmesi, liflerin mikroyapı içerisindeki kimyasal etkileşimini ve reaktivitesini göstermektedir. Ancak, lif miktarının aşırı artışı mikroyapısal bütünlüğü olumsuz etkileyebilmektedir. Liflerin

yoğunluğu ile birlikte matrisin homojenliğinde bozulmalar, liflerin çevresinde mikroboşluklar ve lif yuvaları olduğu görülmüştür. Bu durum, liflerin yüksek oranlarda kullanıldığında karışımın işlenebilirliğini olumsuz etkilediğini ve bunun sonucunda hem lif aderansında hem de matris yoğunluğunda düşüş yaşandığını göstermektedir. Buna karşın, 1B0,75 ve 1B1,5 numunelerinde liflerin matrise daha homojen dağıldığı ve geçiş zonunda güçlü bir bağlanma gözlemlendiği, bu numunelerde lif katkısının mikroyapısal bütünlüğü artırıcı etki sağladığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, uygun dozajda kullanılan ısırgan otu liflerinin buhar kürüne tabi tutulmuş çimento matrisinde aderansı artırarak daha kompakt ve dayanıklı bir yapı oluşturduğu, SEM analizleriyle desteklenmektedir. Numunelerin SEM görüntüleri Şekiller 4.11 ve 4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.11. (a) BSTD numunesi 200 µm SEM görüntüsü (b) 1B0,75 numunesi 100µm SEM görüntüsü (c) 1B1,5 numunesi 100µm SEM görüntüsü (d) 1B3 numunesi 100µm SEM görüntüsü



Şekil 4.12. (a) SSTD numunesi 200µm SEM görüntüsü (b) 1S0,75 numunesi 100µm SEM görüntüsü (c) 1S1,5 numunesi 100µm SEM görüntüsü (d) 1S3 numunesi 100µm SEM görüntüsü

4.2.3. Enerji dispersif spektrometre analizi (EDS)

Enerji dispersif spektrometre (EDS) analizi ile numunelere noktasal analizler yapılmış ve numunelerde oksijen, karbon, kalsiyum ve silisyum gibi majör elementler tespit edilmiştir. Standart numunelerde silisyum oranları yüksek iken, lif katkılı numunelerde silisyum oranlarının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir

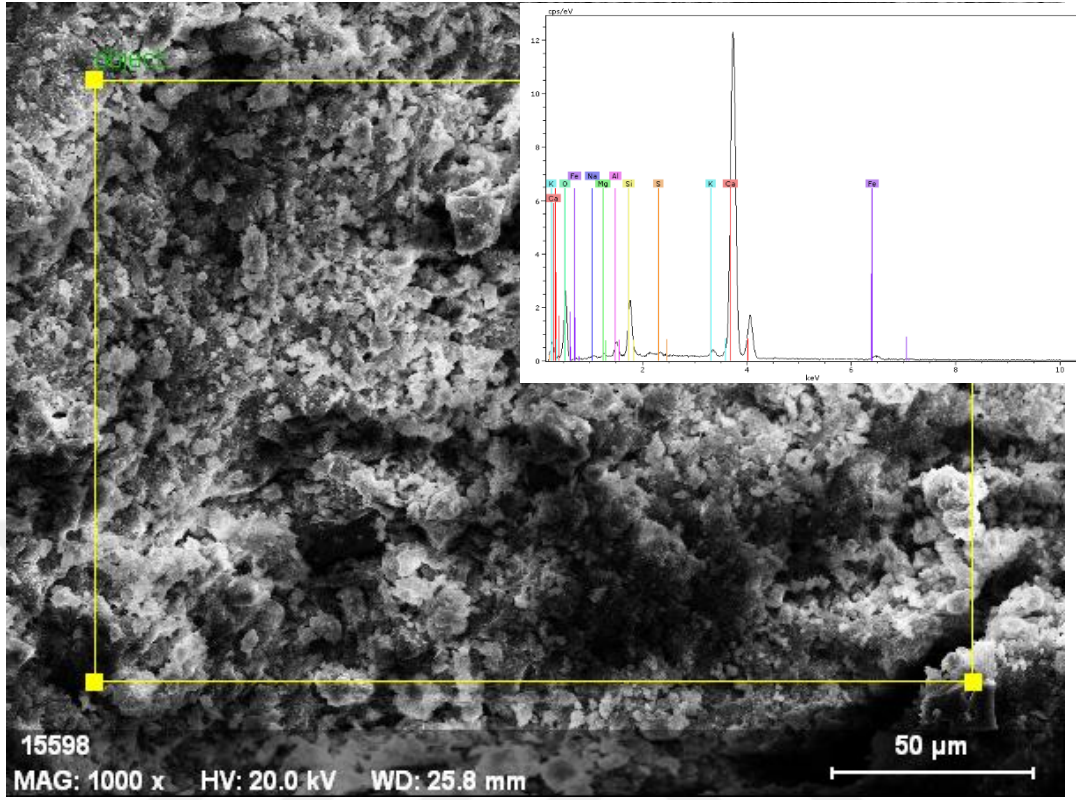
Spektrometre analizi ile lif katkısının majör elementlere etkisi incelendiğinde, buhar kürlü numunelerde ağırlıkça karbon yüzdesinin belirgin bir şekilde bulunmadığı, ancak su havuzu küründe %1,79 oranında olduğu gözlemlenmiştir. Su kürleme koşullarında, suyun beton içindeki kimyasal reaksiyonları daha aktif hale getirmesi, organik maddelerin çözünmesine ve karbonun serbest kalmasına neden olabilir. Bu, betonun karbon içeriğini artırırken, buhar küründe, yüksek sıcaklık ve nemle birlikte suyun sınırlı etkileşimi, organik maddelerin çözünmesini engeller ve karbonun serbest kalmasını azaltır.

BSTD numunesinde silisyum, kalsiyum ve oksijen oranları sırasıyla %4,46, %40,58 ve %51,51; SSTD numunesinde ise bu oranlar %5,16, %33,64 ve %53,90 olarak tespit edilmiştir. Numune içeriğinde lif oranının artmasıyla birlikte karbon yüzdesinde de artış gözlenmiştir. 1B0,75 numunesinde karbon, silisyum, kalsiyum ve oksijen oranları sırasıyla %30,25, %2,75, %13,89 ve %46,63; 1B1,5 numunesinde %14,16, %5,47, %14,44 ve %57,53; 1B3 numunesinde %35,71, %1,65, %6,78 ve %48,23; 1S0,75 numunesinde %22,61, %2,12, %10,08 ve %59,80; 1S1,5 numunesinde %43,06, %0,19, %8,98 ve %45,22; 1S3 numunesinde ise %6,40, %2,92, %25,55 ve %57,38 oranlarında tespit edilmiştir.

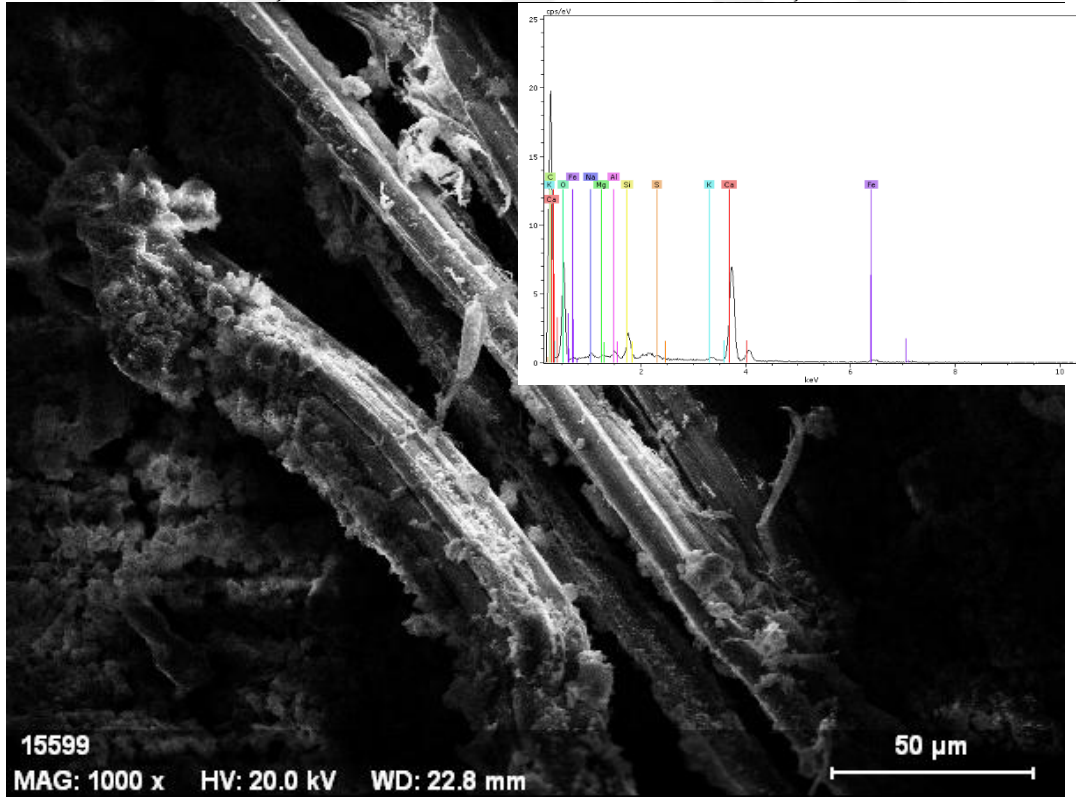
Buhar odası küründe, numuneler kendi arasında karşılaştırıldığında, yapısal dengeyi en iyi sağlayan numune %1,5 oranında lif katkısı içeren numune olmuştur. Öte yandan, %3 oranında lif içeren numune, yüksek karbon içeriği ve zayıf bağlayıcı fazları nedeniyle kimyasal açıdan zayıf olarak değerlendirilmiştir.

Su havuzu küründe, numuneler kendi içinde karşılaştırıldığında, karbon oranının dengelenmesiyle birlikte en iyi dayanım %3 oranında lif katkısı içeren numunede elde edilmiştir. Bu sonuçlar, mekanik testlerle de doğrulanmıştır.

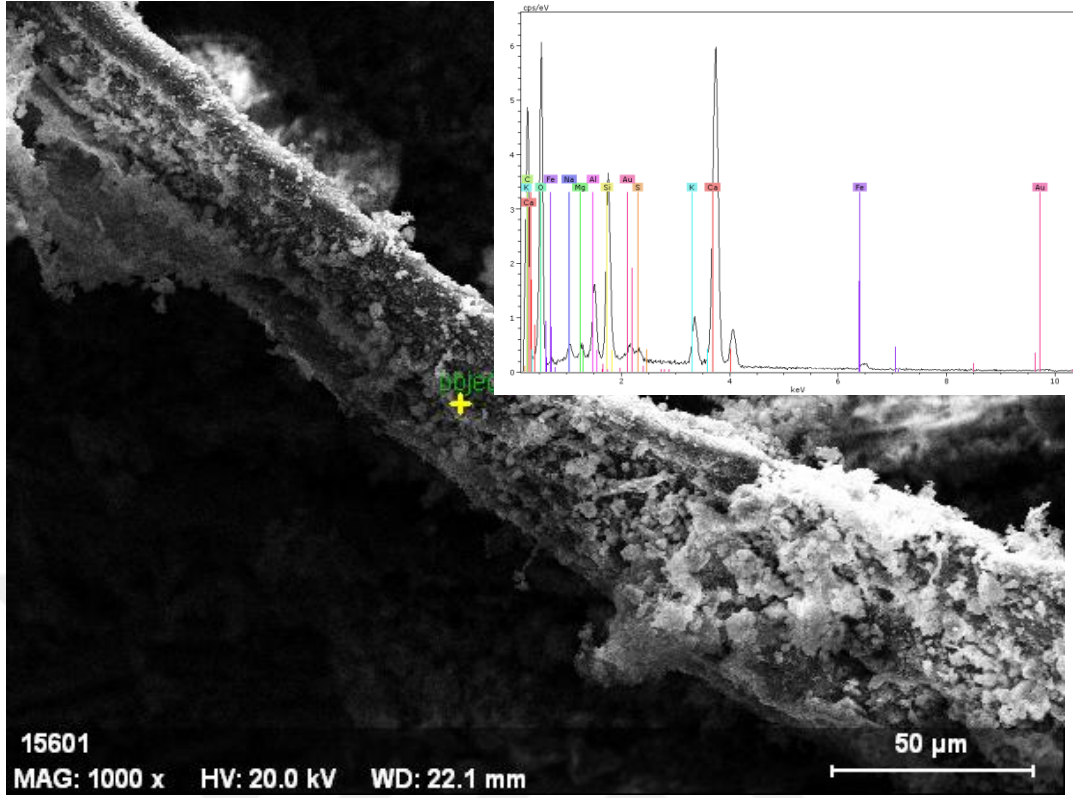
Buhar odasında kürlenmiş numuneler, yüksek sıcaklık ve nem koşullarında kürlendiklerinden, bağlayıcıların daha iyi reaksiyona girerek daha yüksek bağlayıcı kapasite ve puzolanik etki gösterir. Bu süreç, betonun dayanımını artırmakla birlikte, karbonatlaşma reaksiyonlarını hızlandırarak karbonatlaşma riskini de artırabilir. Buna karşın, su havuzunda kürlenmiş numuneler, daha düşük sıcaklıkta ve daha uzun süre nemli kalacak şekilde kürlendikleri için karbonatlaşma riski açısından daha düşük bir eğilim gösterir. Ancak, bu numunelerde CaO ve SiO₂ içeriklerinin daha düşük olması, kimyasal dayanım açısından bazı zayıflıklara yol açabilmektedir. Bununla birlikte, %3 oranında lif katkılı su havuzunda kürlenmiş numune, karbonatlaşma riskini minimize ederken, liflerin betonun mikro yapısındaki mekanik güçlendirme etkisi sayesinde orta seviyede kimyasal dayanım sunmaktadır. Bu, liflerin betonun yapısal bütünlüğünü artırarak çatlak oluşumunu engellemesi ve dayanımını güçlendirmesiyle sağlanmaktadır.



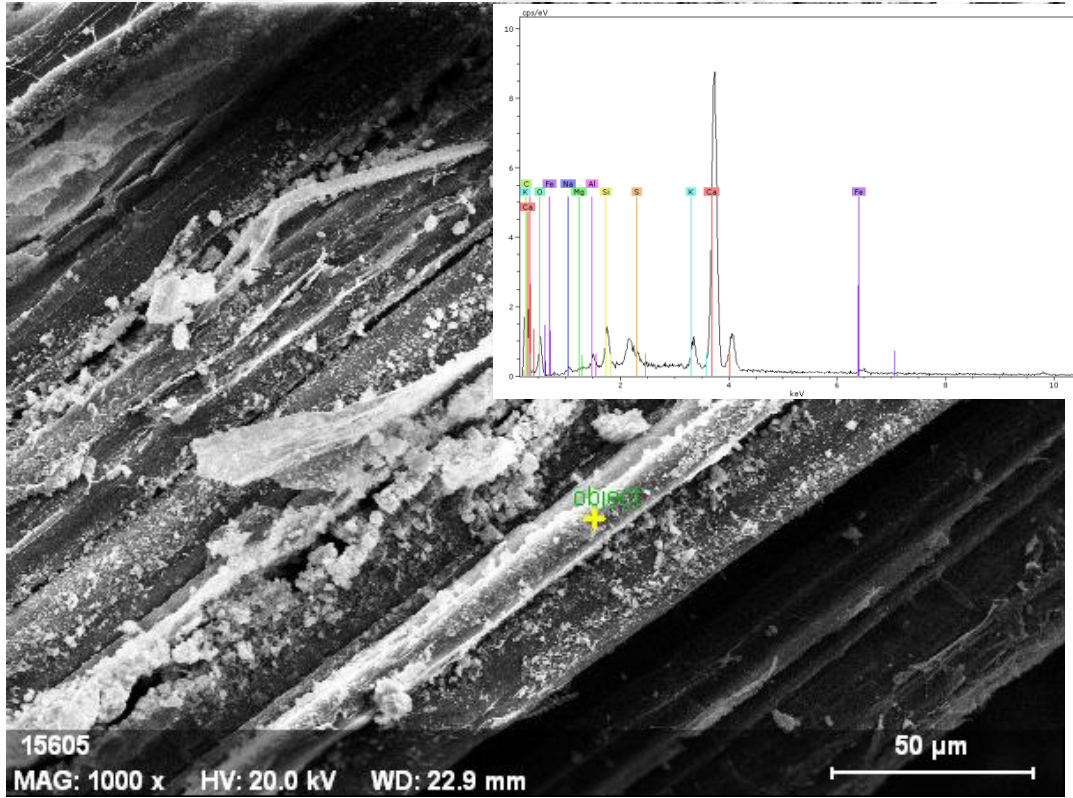
Şekil 4.13. BSTD numunesinin EDS analiz sonuçları



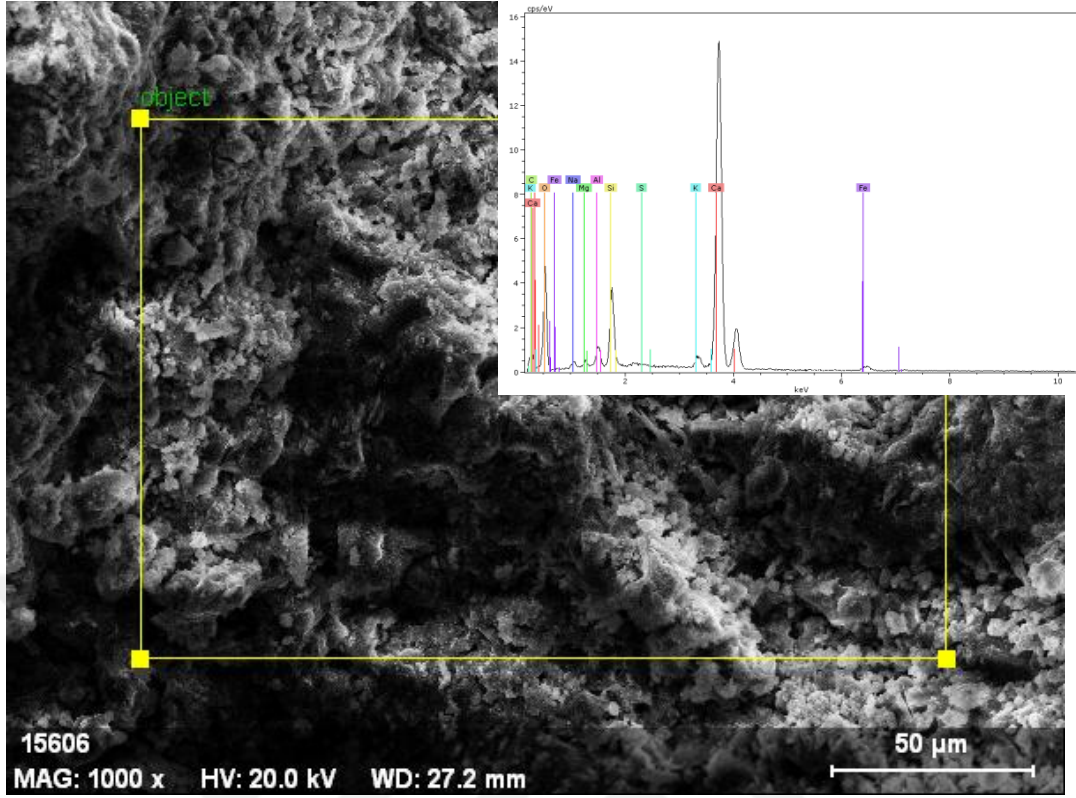
Şekil 4.14. 1B0,75 numunesinin EDS analiz sonuçları



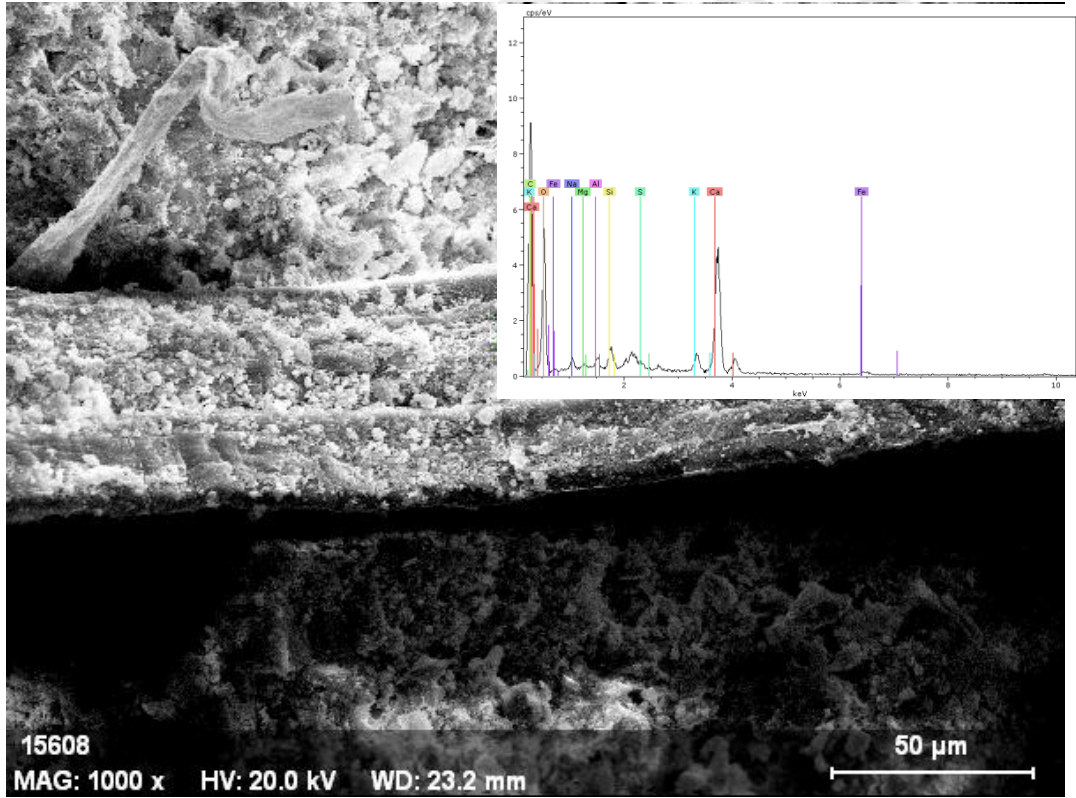
Şekil 4.15. 1B1,5 numunesinin EDS analiz sonuçları



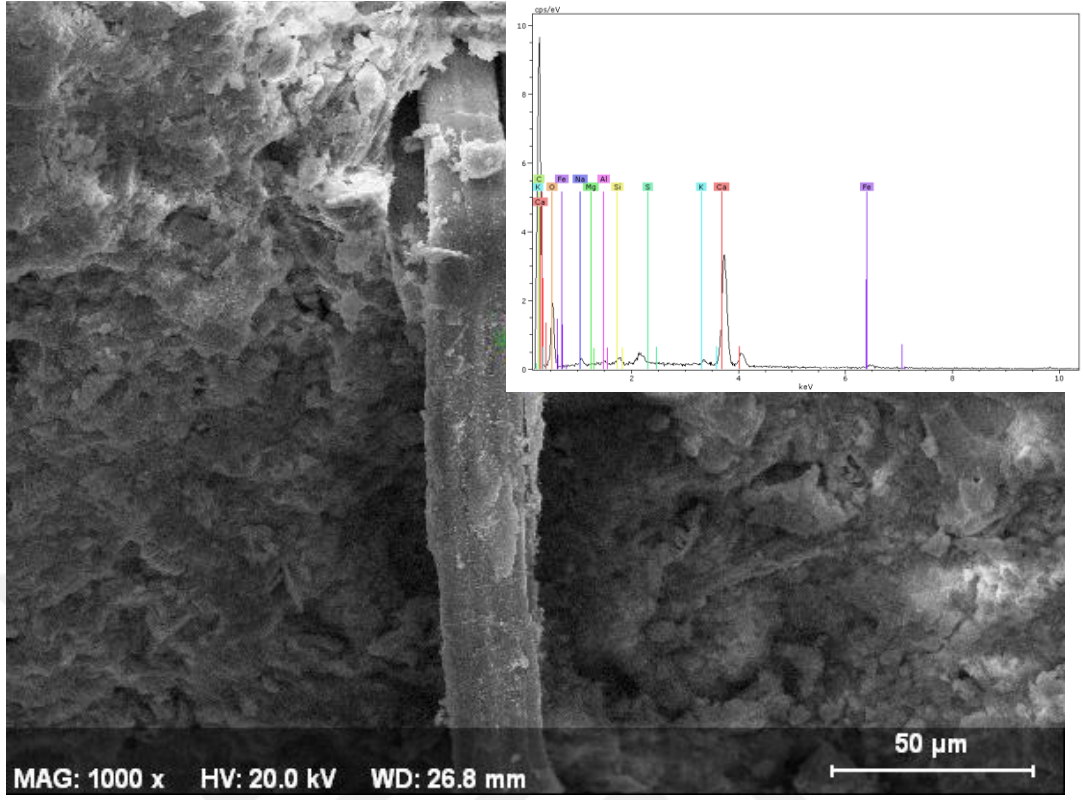
Şekil 4.16. 1B3 numunesinin EDS analiz sonuçları



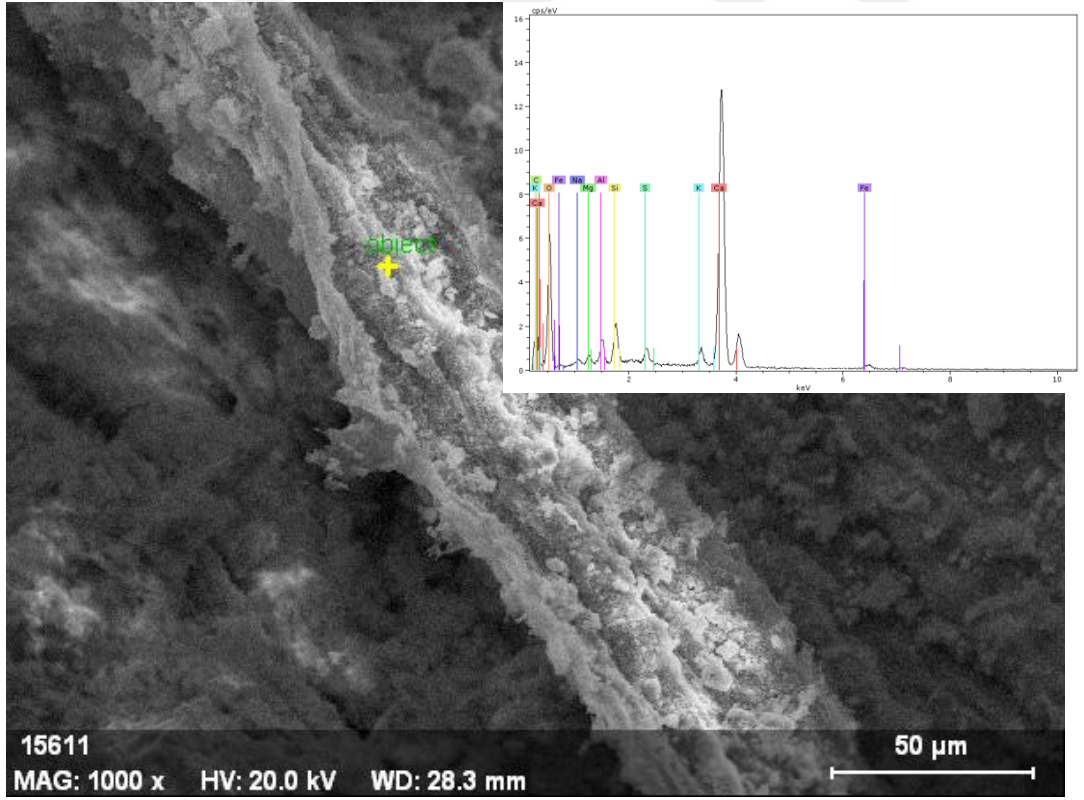
Şekil 4.17. SSTD numunesinin EDS analiz sonuçları



Şekil 4.18. 1S0,75 numunesinin EDS analiz sonuçları



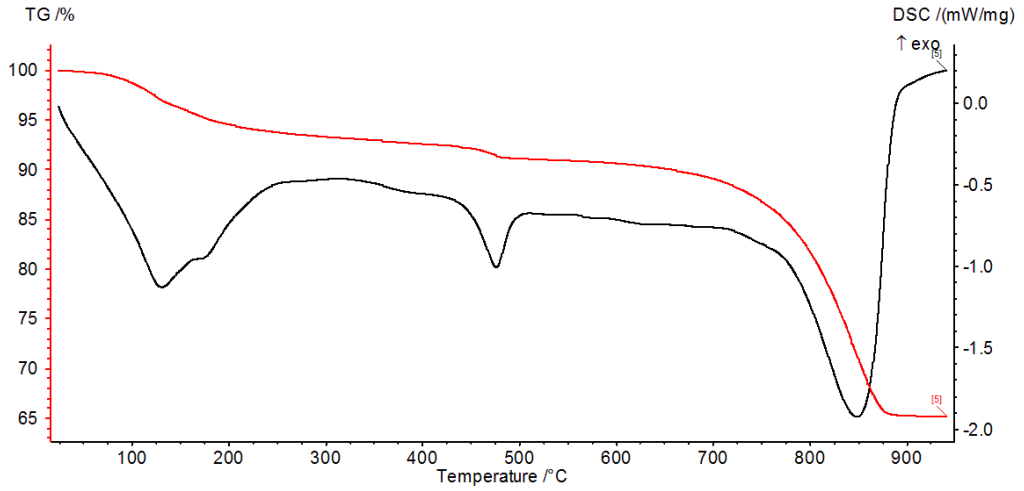
Şekil 4.19. 1S1,5 numunesinin EDS analiz sonuçları



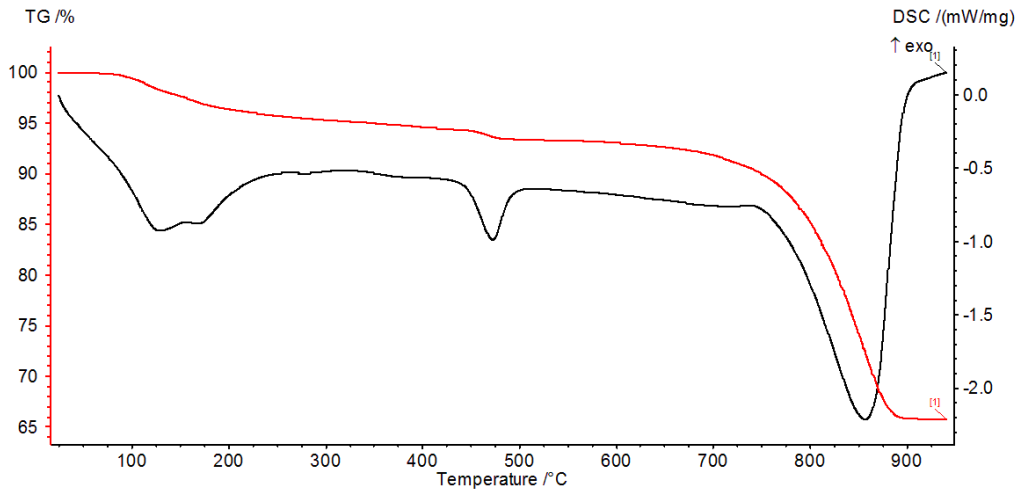
Şekil 4.20. 1S3 numunesinin EDS analiz sonuçları

4.2.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre-graviyometrik analiz (DSC-TG)

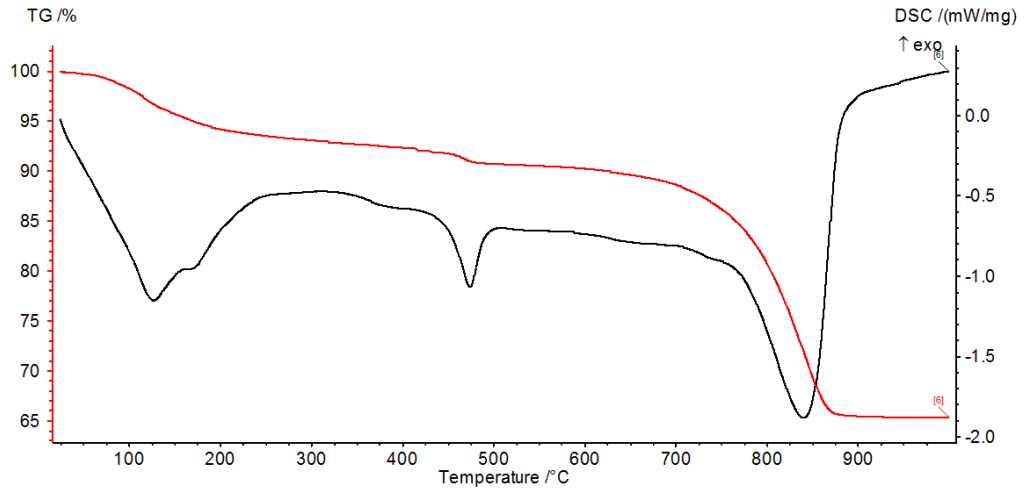
Standart ve lif katkılı numunelerde, sıcaklık artışıyla meydana gelen ağırlık kayıplarını belirlemek amacıyla DSC-TG analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, 20°C/dakika ısıtma hızıyla yapılmış ve numunelere maksimum 900 °C sıcaklık uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekiller 4.21-4.28'de grafikler ile görselleştirilerek değerlendirilmiştir.



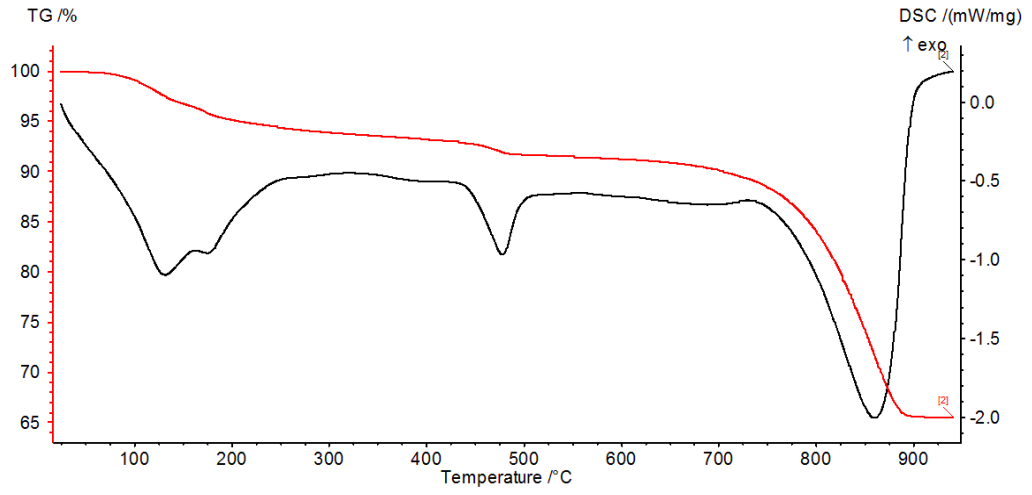
Şekil 4.21. BSTD numunesinin DSC-TG analiz sonuçları



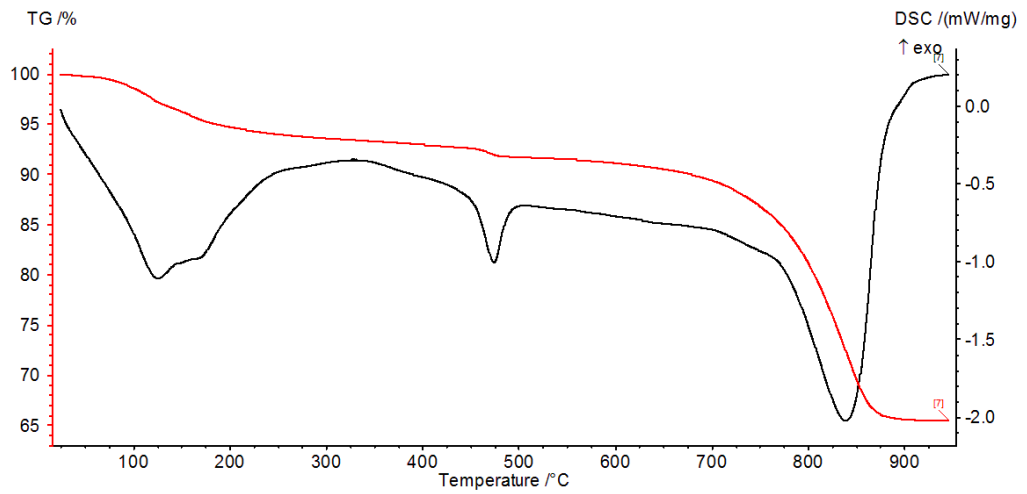
Şekil 4.22. SSTD numunesinin DSC-TG analiz sonuçları



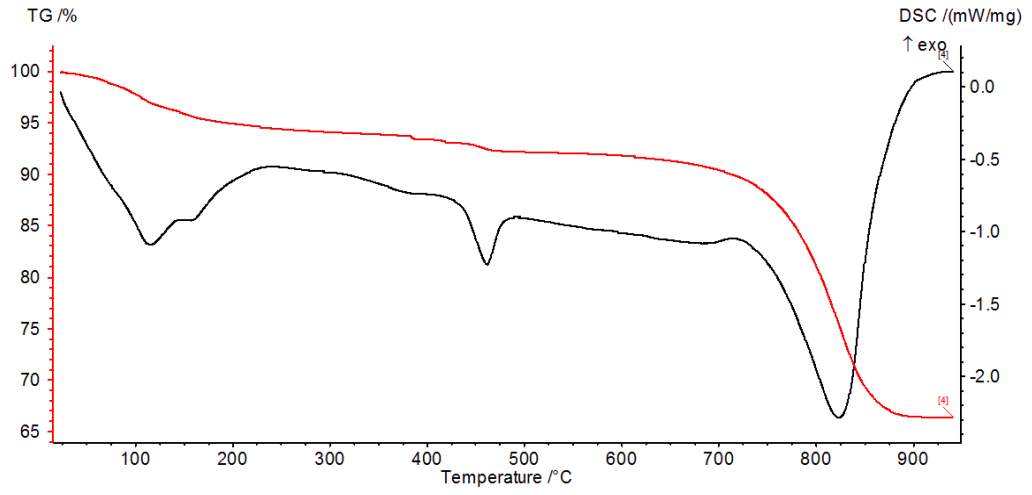
Şekil 4.23. 1B0,75 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları



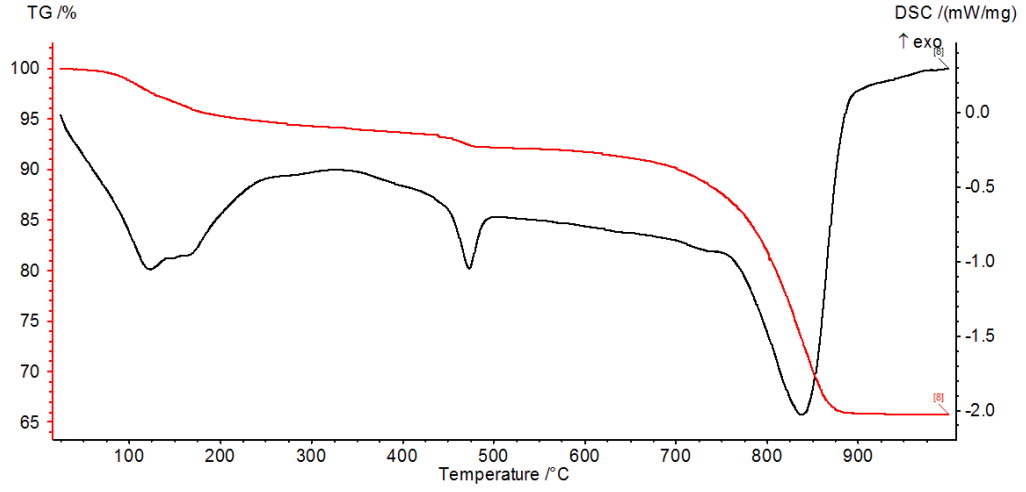
Şekil 4.24. 1S0,75 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları



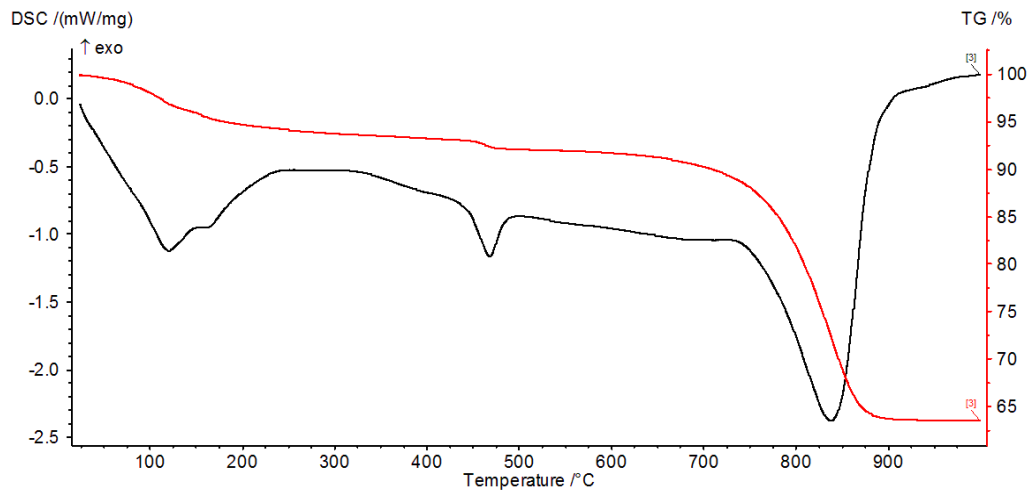
Şekil 4.25. 1B1,5 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları



Şekil 4.26. 1S1,5 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları



Şekil 4.27. 1B3 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları



Şekil 4.28. 1S3 numunesinin DSC-TG analiz sonuçları

Termogravimetrik (TG) analiz sonuçları, numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak gösterdiği kütle kaybı eğilimleri açısından karşılaştırıldığında, lif katkısının termal davranış üzerinde anlamlı etkiler yarattığı gözlemlenmektedir. Numunelerde genel olarak toplamda üç ana kütle kaybı evresi tespit edilmiştir. Bu evreler sırasıyla yaklaşık %5,44, %1,53 ve %27,26 oranında kütle kaybıyla sonuçlanmıştır. STD numunelerde yaklaşık 100–200 °C aralığında gözlemlenen ilk kütle kaybı, numune bünyesindeki fiziksel olarak absorbe olmuş suyun uzaklaşmasıyla ilişkilidir. Lif katkılı numunelerde bu aralıkta daha yüksek oranlı kütle kaybı gözlenmiş olup, bu durum liflerin higroskopik yapısından kaynaklı olarak daha fazla nem tutma eğiliminde olmalarıyla açıklanabilir. 400–550 °C aralığında meydana gelen ikinci kütle kaybı, katkılı numunelerde belirgin bir şekilde artış göstermekte olup, bu sıcaklık aralığı ısırgan otu liflerinin yapısında bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi organik bileşenlerin bozunma sıcaklıklarını içermektedir. 700–900 °C aralığında gözlemlenen üçüncü kütle kaybı hem katkılı hem de katkısız numunelerde benzer şekilde gözlenmiş ve bu sıcaklıklar, genellikle seramik matrislerde yer alan kalsiyum karbonat gibi inorganik bileşenlerin ayrışma sıcaklıklarına tekabül etmektedir.

Su havuzunda kürlenmiş numunelerden 1S0,75 numunesi, ilk kütle kaybı evresinde %6,54 ile en yüksek başlangıç kaybını göstermiştir; bu durum, fiziksel olarak tutulan su miktarının daha fazla olabileceğini düşündürmektedir. İkinci evre benzer şekilde %1,69 kütle kaybı ile seyretmiş, yüksek sıcaklıktaki kütle kaybı ise %26,00 olarak ölçülmüştür. 1S1,5 numunesi ise ilk evrede %6,14, ikinci evrede %1,72 ve üçüncü evrede %25,80 kütle kaybı göstermiştir. Lif katkısının en verimli etkiyi bu katkı oranında sağladığı, özellikle yüksek sıcaklık bölgesindeki kütle kaybının diğer katkılı numunelere kıyasla daha düşük olmasıyla desteklenmektedir.

Öte yandan, katkı oranı %3'e çıkarıldığında (1S3), ilk evrede %6,48, ikinci evrede %1,56 ve son evrede %26,36 gibi nispeten yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, katkı oranının artışına bağlı olarak matris içerisindeki liflerin homojen dağılımında yaşanan problemlerle açıklanabilir. Yüksek lif oranı, özellikle yüksek sıcaklık evresinde daha fazla ayrışmaya neden olmuş, bu da bağ yapısında bir bütünlük kaybı olabileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, %1,5 lif katkılı numune (1S1,5), kütle kaybı değerleri açısından optimum termal stabiliteyi göstermekte; hem bağ yapısını destekleyici etkisini korumakta hem de yüksek sıcaklıklarda daha düşük kütle kaybıyla yapısal kararlılığını sürdürebilmektedir. Bu da onu termal performans bakımından en uygun katkı oranına sahip numune olarak ön plana çıkarmaktadır.

Buhar odası kürü uygulanan numunelerde ise 1B0,75 numunesi, ilk kütle kaybı evresinde %7,06 ile en yüksek başlangıç kütle kaybını sergilemiştir; bu, numunenin bünyesinde fiziksel olarak tutulan serbest su miktarının diğerlerine göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum, buhar kürü altında liflerin daha gözenekli bir yapı oluşturmaya ve suyu daha fazla absorbe etmesine bağlanabilir. İkinci evrede %2,01 oranında kütle kaybı gözlemlenmiş ve bu değer, Ca(OH)_2 'nin ayrışmasını temsil eden bu sıcaklık aralığında önemli bir bozunmayı işaret etmiştir. Yüksek sıcaklık evresi olan üçüncü bölgede ise %25,79 oranında kütle kaybı gerçekleşmiştir. 1B1,5 numunesinde ise ilk evrede %6,71, ikinci evrede %1,78 ve üçüncü evrede %26,04 kütle kaybı kaydedilmiştir. Bu değerler, özellikle ikinci evredeki düşük kütle kaybı ile dikkat çekmekte olup, bu katkı oranında liflerin çimento matrisine daha iyi entegre olduğu ve hidrasyon ürünlerinin daha stabil bir yapı oluşturduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak yüksek sıcaklık evresindeki kütle kaybının diğer numunelere yakın olması, bu katkı oranının özellikle orta sıcaklık stabilitesi açısından avantaj sağladığını göstermektedir.

Katkı oranı %3'e çıkarıldığında (1B3), ilk evrede %6,05 gibi daha düşük bir kütle kaybı izlenmiş, bu durum fiziksel su tutulumunun azaldığına işaret etmektedir. Ancak ikinci evrede %1,94 ile en yüksek Ca(OH)_2 ayrışması gözlemlenmiştir. Bu, katkı oranının artmasıyla birlikte matrisin iç yapısında bir düzensizlik yaşanabileceğini ve hidrasyon ürünlerinin daha az bağlanmış hâlde bulunabileceğini düşündürmektedir. Üçüncü evredeki %26,21'lik kütle kaybı ise bağ yapısında bir miktar bütünlük zayıflığına işaret etmektedir.

Genel değerlendirme yapıldığında, 1B1,5 numunesi, buhar kürünün etkisi altında hem su tutulumunu dengeleyen hem de orta sıcaklık stabilitesini koruyan yapısıyla öne

çıkılmaktadır. Yüksek katkı oranı (1B3) homojenlik kaybına neden olarak ayrışmayı artırırken, düşük katkı oranı (1B0,75) ise su absorpsiyonunu artırarak başlangıçta daha fazla kütle kaybına yol açmıştır. Bu bağlamda, %1,5 lif katkısı, buhar kürü altında en uygun termal davranış ve yapısal bütünlük sağlayan katkı oranı olarak değerlendirilebilir.

Yapılan DSC analizleri, ısırgan otu lifi katkısının çimento esaslı kompozitlerin termal davranışı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Lif katkı oranına bağlı olarak termal geçiş sıcaklıklarında ve endotermik tepkime alanlarında meydana gelen değişimler, katkı maddesinin çimento matrisine entegre olurken bağ yapısını ve ayrışma süreçlerini nasıl etkilediğini açıkça göstermektedir. Tüm numunelerde yaklaşık 125-130 °C, 470-480 °C ve 830-850 °C sıcaklık aralıklarında üç belirgin endotermik pik gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklıktaki ilk pik genellikle serbest ve fiziksel olarak bağlı suyun uzaklaştırılmasıyla ilişkilendirilirken, orta sıcaklıktaki pik organik bileşiklerin yanması veya hidrasyon ürünlerinin ayrışmasıyla ilişkilendirilebilir. En yüksek sıcaklıktaki üçüncü pik ise çimento matrisinde meydana gelen faz dönüşümleri ve kalsiyum hidroksit gibi bileşenlerin ayrışmasıyla ilgilidir.

DSC analizleri doğrultusunda değerlendirildiğinde, ısırgan otu lifi katkılı numuneler arasında %1,5 oranında lif içeren numuneler, termal karakteristikler açısından en uygun katkı oranını temsil etmektedir. Bu numunede özellikle yüksek sıcaklık bölgesinde (yaklaşık 830-850 °C) gözlemlenen belirgin endotermik tepkime, çimento matrisinde lif katkısının etkin bir şekilde bağ yapısına entegre olduğunu ve daha fazla enerjiyle ayrışan fazların oluştuğunu göstermektedir. Bu durum, çimento-hidrasyon ürünleri ile lif katkısı arasında güçlü bir kimyasal veya fiziksel etkileşim olduğunu ve bu etkileşimin termal kararlılığı artırdığını göstermektedir. Öte yandan, %3 katkı oranına sahip numuneler yüksek sıcaklık bölgesindeki endotermik tepkimenin şiddetinde gözle görülür bir azalma kaydedilmiştir. Bu da katkı oranının belirli bir düzeyin üzerine çıktığında, bağ yapıların sürekliliğini ve homojenliğini olumsuz etkileyebileceğini işaret etmektedir. Bu bağlamda, %1,5 lif içeren numune, termal açıdan en etkin bağlanmayı sağlayan, katkı-matris etkileşiminin optimum düzeyde olduğu ve dolayısıyla DSC açısından en dengeli ve uygun kompozit yapıyı temsil eden numune olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda DSC analizleri lif katkısının sadece

fiziksel bir katkı değil, aynı zamanda imento matrisinin termal davranışına etki eden kimyasal ve yapısal bir modifikasyon sağladığını göstermektedir.



BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, lifli betonlar üzerine bir araştırma yapılmış ve beton içerisinde daha önce kullanılmamış olan doğal liflerden ısırgan otu lifi kullanılarak üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Lif katkısının etkisini incelemek amacıyla, lif içermeyen bir kontrol betonu için belirlenen reçeteye uygun olarak standart beton ve farklı uzunluklarda ve oranlarda lif eklenmiş beton numuneleri üretilmiştir. Ayrıca, beton numunelerinin su havuzu ve buhar odası kürü altında gösterdiği dayanımlar da incelenmiştir. 7, 28 ve 60 günlük kürlenme sürelerine tabi tutulan numunelere çeşitli fiziksel, kimyasal ve ileri teknolojik testler uygulanmıştır. Literatürde bu konuda yapılmış benzer çalışmalar araştırılmış ve elde edilen veriler ışığında, bu tezde ortaya konan bulgular tartışılarak yeni ürünün mühendislik özellikleri değerlendirilmiş, temel çıkarımlar aşağıda verilmiştir.

1. Betonda kullanılan katkı maddeleri ve agregaların karışım oranı, betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Optimal karışımlar, dayanıklı ve uzun ömürlü beton üretimi için gereklidir.
2. Betonların birim hacim ağırlığı incelendiğinde, standart beton örneklerinin birim hacim ağırlığının yaklaşık $2,150 \text{ g/cm}^3$ civarında olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, lif katkılı betonlarda, katkı oranının artmasıyla birlikte, birim hacim ağırlığının belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, liflerin beton matrisine entegre olmasının ve liflerin düşük yoğunluklu olması numunelerin genel yoğunluğunu düşüren bir etki yarattığını göstermektedir.
3. Slump (çökme) testi sonuçlarına göre, lif katkısının miktarının artması, taze betonun çökme değerinin azalmasına sebep olmuştur. TS EN 12350-2 standardına dayanarak yapılan değerlendirmede, Tüm numunelerin S3 ve S2 yani orta akışkan

sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, lif katkılı betonların şantiyelerde kullanım açısından uygun olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

4. Numunelerin su emme kapasitesi incelendiğinde, ısırgan otu lifi oranının artmasıyla birlikte beton içerisinde mikro gözenekliliğin artmasına sebebiyet verdiği anlaşılmaktadır.
5. Betonların mekanik sonuçları incelendiğinde, zamana ve ısırgan otu lifinin oranına bağlı olarak tüm numunelerde genel anlamda olumlu etkiler gözlenmiştir. Su havuzu kürüne tabi tutulan numuneler, tüm kür sürelerinde (7-28-60 gün) buhar odası kürüne kıyasla daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir.
6. XRF Analizi sonuçlarına göre genel olarak, kimyasal kompozisyondaki değişimler, lif katkılı betonların uzun vadeli performans, dayanım ve mikro yapı açısından olumlu etkiler sunduğunu, ancak bazı kimyasal sınırlara dikkat edilmesi gerektiği gözlenmiştir.
7. SEM analizi sonuçlarına göre, ısırgan otu lifi beton matrisine homojen şekilde dağılmış ve özellikle %3 katkı oranında liflerin sıkı bir ağ yapısı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu yapı, çatlak kontrolünü destekleyerek mikroyapısal bütünlüğü artırmıştır. Bulgular, lif oranı arttıkça mikroyapısal iyileşmenin belirginleştiğini ortaya koymuştur.
8. EDS analizi, ısırgan otu lifi katkısının betonun kimyasal bileşimini değiştirdiğini ortaya koymuştur. Lif oranı arttıkça karbon içeriği yükselirken, silisyum oranı azalmıştır. Su havuzu kürüyle kürlenmiş %3 lif katkılı numuneler, yüksek karbon içeriği ve homojen lif dağılımı sayesinde üstün mekanik performans sergilemiştir. Buhar odası kürü ise kimyasal etkinliği artırırken karbonatlaşma riskini yükseltmiştir. Genel olarak, su havuzu kürü lif katkısının mekanik ve mikroyapısal performansa olumlu etkilerini daha belirgin hale getirmiştir.

9. DSC-TG analizleri, lif katkılı numunelerde sıcaklık arttıkça kütle kaybının arttığını ve su havuzu kürü altında bu kaybın daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. 400-500°C aralığında bağlanmış su ayrışırken, 750-850°C’de kalsiyum karbonat dekarbonizasyonu gözlemlenmiştir. DSC analizlerinde ise, lif oranı arttıkça düşük sıcaklıklarda endotermik tepkilerin yoğunlaştığı ve %3 lif katkılı numunelerde enerji değişimlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu bulgular, lif katkısının betonun termal davranışını etkilediğini ve termal stabiliteyi artırdığını göstermektedir.
10. Lif katkısının, özellikle %3 oranında ve 1 cm uzunluğunda kullanılması durumunda, betonun hem mekanik hem de mikroyapısal özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Bu katkı oranı, basınç, çekme ve eğilme dayanımlarında artışlar sağlarken; aynı zamanda betonun iç yapısındaki bütünlüğü de güçlendirmiştir. Ayrıca, uygulanan kür yöntemleri arasında su havuzunda kürleme, lif katkısının olumlu etkilerini daha etkin biçimde ortaya koymuş ve bu yöntemin, lif katkılı betonlar açısından daha elverişli bir çevresel koşul sunduğu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan ısırgan otu lifi, doğal, yenilenebilir ve çevre dostu bir kaynak olarak öne çıkmış; bu yönüyle sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirme sürecinde potansiyel bir alternatif katkı maddesi olabileceğini ortaya koymuştur. Bu bulgular doğrultusunda, ısırgan otu lifinin beton teknolojisinde hem çevresel hem de yapısal faydalar sağlayan bir bileşen olarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.
11. Katkı malzemesinin beton üzerindeki olumlu etkilerinin daha etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi ve betonun dayanım sınıfının bir üst seviyeye çıkarılabilmesi için, özellikle 1 cm uzunluğundaki ısırgan otu liflerinin daha yüksek oranlarda kullanıldığı ileri düzey araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, liflerin beton matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla akışkanlaştırıcı katkı maddeleri gibi yardımcı bileşenlerin kullanılması, karışımın homojenlik özelliklerini iyileştirecek; böylece hem daha ekonomik hem de yapısal açıdan daha verimli sonuçların elde edilmesine katkı sağlayacaktır.
12. Gelecek çalışmalarda, doğal lif katkısının betonun dayanıklılık başta olmak üzere, mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerinin çok daha kapsamlı ve

sistematik bir biçimde incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Özellikle lif oranları, lif uzunlukları ve liflerin dağılımı gibi parametrelerin farklı varyasyonlarının beton performansına etkileri detaylı olarak araştırılmalıdır. Bu sayede, ısırgan otu lifi katkılı betonların uzun ömürlü ve çevresel koşullara karşı dirençli yapı malzemeleri olarak kullanımı konusunda daha net ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Tez çalışmam, ısırgan otu liflerin beton içerisindeki davranışını çok yönlü analiz eden ve farklı kür koşulları altında lif katkısının mekanik özelliklere etkisini deneysel olarak ortaya koyan özgün bir yaklaşım sergilemiştir. Bu bağlamda, ısırgan otu lif katkısının betonun mikro yapısından makro düzeydeki performansına kadar geniş bir perspektiften ele alınması, alan literatürüne önemli ve yenilikçi katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Acun, S. 2000. Yüksek dayanımlı beton üretiminde dizayn parametresi olarak lifsel katkıların irdelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akçaat, S. K. 2022. Yapay ve doğal lifli malzemeler ile güçlendirilmiş beton yapı elemanlarının incelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ararat, Ö. 2015. Beton basınç dayanımına boyut ve cidar etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Arslantürk, Y. E. 2021. Atık metal liflerin betonda kullanımı. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bilgiç, M. 2009. Yüksek performanslı prefabrike hafif betonların özelliklerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Karabulut, A. S. 2006. Reaktif pudra betonun (RPB) özelliklerinin mineral katkılarla geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Malzemeleri Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Kaynak, B. 2022. Kenevir bitkisi atıklarının ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Mercan, A. M. 2019. Effect of fiber type and concrete strength on the energy absorption capacity of fiber reinforced concrete plates under quasi-static bending. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, Master's Thesis.
- Öztürk, İ. Ş. 2020. Çelik lifli betonlarda geri dönüştürülmüş nano karbon siyahı ve Kandıra taşı tozunun değerlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Sağsöz, A. E. 2007. Farklı kür şartlarının doğal perlit agregalı betonların mekanik özelliklerine etkileri. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Saran, A. G. 2007. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun betonun durabilite özelliklerine etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Sayaca Topgöl, S. 2016. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun geri kazanılmış agregalı betonların özelliklerine etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

- Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Şimşek, N. 2021. Kenevir lifi, keçi kılı ve polipropilen elyaf katkılı horasan harcının özelliklerinin araştırılması. Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Akpınarlı, H. F., Başaran, F. N., Bekiroğlu, E., 2018. Isırgan bitkisinden lif elde etme yöntemleri. *Multidisciplinary Studies - Natural Sciences*, 4, 225–245.
- Alkayış, M. H., Başığit, C. 2021. Lif katkısının beton darbe dayanımına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24, 455-462.
- Aydoğan, M., Terzi, Y. E., Gizlenci, Ş., Acar, M., Esen, A., Meral, H. 2020. Türkiye’de kenevir yetiştiriciliğinin ekonomik olarak yapılabilirliği: Samsun ili Vezirköprü ilçesi örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(1), 35-50.
- Bayraktar, O. Y. 2020. Pirinç kabuğu atıklarının köpük beton üretiminde kullanılması. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(12), 2716-2722.
- Binici, H., Çağatay, İ. H., Kaplan, H. 2000. Experimental study on effect of various factors on compressive strength of concrete. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 6(3), 203-209.
- Çomak, B., Bideci, A., Bideci, Ö. S. 2018. Kenevir liflerinin çimento esaslı harç özelliklerine etkileri. *Construction and Building Materials*, 169, 794-799.
- Deliktaş, B., Shareef, F. A., Türker, H. T., Mirkheel, H., Arslan, T., Mayar, B. A. 2020. Lifli betonun çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisinin üçgen plaka deney yöntemi ile belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 1923-1935.
- Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş. 2003. Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 48(426), 115–120.
- Falkner, H., Huang, Z., Teutsch, M. 1995. Strengthening bridges with unbonded prestressing. *Structural Engineering International*, 5(2), 76–77.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., Sain, M. 2014. Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 299(1), 9-26.
- Iucolano, F., Boccarusso, M., Langella, A. 2019. Hemp as eco-friendly substitute of glass fibres for gypsum reinforcement: Impact and flexural behaviour. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107073.
- Kaplan, G., Öztürk, A. U., Uğur Kaplan, A. B. 2020. Çimento ve uçucu kül bünyesindeki ağır metallerin etkilerinin hidrasyon ve çevre sağlığı açısından incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 305-313.
- Mattos, B. D., Misso, A. L., De Cademartori, P. H., De Lima, E. A., Magalhães, W. L., Gatto, D. A. 2014. Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of mate-tea and wood particles. *Construction and Building Materials*, 61, 60-68.

- Summerscales, J., Dissanayake, N. P., Virk, A. S., Hall, W. 2010. A review of bast fibres and their composites. Part 1–fibres as reinforcements. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10), 1329–1335.
- Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., Hasgöl, U. 2019. Ultra yüksek performanslı lifli beton içeren kirişlerin eğilme davranışı. *Teknik Dergi*, 30(1), 8777–8801.
- Türkmenoğlu, Z. F., Güler, S., Korkut, F., Yavuz, D. 2016. Çelik lif katkılı betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Engineering Sciences*, 11(4), 93-99.
- Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I. 2003. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 63(9), 1259-1264.
- Arslanoğlu, S. A., Başbağ, S., Ekinci, F. R., Ayan, A. K. 2020. Lif bitkileri üretiminde mevcut durum ve gelecek. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1*, Ankara, 2020, 463.
- Başaran, F. N., Bekiroğlu, E. 2018. Isırgan bitkisinden lif elde etme yöntemleri. 4. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Sempozyumu (ISMS), Paris, Fransa, 2018, 225-245.
- Engin, Y., Tarhan, M., Aydın, D. Y. 2013. Kür koşulları ve süresinin beton numunelerin basınç dayanımına etkileri. *Beton 2013 Kongresi Bildirileri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul*, 21-23 Şubat, 432–480.
- Erdoğan, T. Y., Erdem, T. K. 2002. Buhar kürü uygulamasında beton özelliklerini etkileyen faktörlerden bekleme süresinin önemi. *ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye*, 2002.
- Türkel, S., Alabaş, V. 2002. İki farklı çimento ile üretilen betonların basınç dayanımına değişik buhar kürü uygulama sürelerinin etkileri. *ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye*, 2002, 445–453.
- Ayan, A. K., Aytaç, S., Saslı, Z. M. R. (2020). *Isırgan*.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, A. 2012. *Beton*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye.
- Bentur, A., Mindess, S. 2006. *Elyaf Takviyeli Çimentolu Kompozitler*. CRC Basını.
- Erdoğan, T. Y. 1995. *Betonu Oluşturan Malzemeler: Çimentolar*. Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. 2006. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill.
- Şimşek, O. 2024. *Beton ve Beton Teknolojisi*, 7. Baskı. Seçkin Yayıncılık.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet DERE ilk, orta ve lise eğitimini Ordu'da tamamladı. 2016 yılında Aybastı Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu. 2016 yılında başladığı Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2020 yılında bitirdi. 2022 yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.