



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN
ÇİMENTO ESASLI LİFLİ KOMPOZİTLERİN
TEMEL MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Yusuf GÖZKESER

Doç. Dr. Serhat DEMİRHAN

ŞUBAT-2024
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Yusuf GÖZKESER tarafından hazırlanan “YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN ÇİMENTO ESASLI LİFLİ KOMPOZİTLERİN TEMEL MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ” adlı tez çalışması 14/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Osman Hulusi Ören

.....

Danışman

Doç. Dr. Serhat DEMİRHAN

.....

Üye

Doç. Dr. İslam GÖKALP

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat Öter
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BTÜBAP) tarafından BTÜBAP-2022-YL-17 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed Yusuf GÖZKESER

Tarih: 14/02/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN ÇİMENTO ESASLI LİFLİ KOMPOZİTLERİN TEMEL MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Muhammed Yusuf GÖZKESER

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Serhat DEMİRHAN

2024, 107 Sayfa

Jüri

**Danışmanın Doç. Dr. Serhat DEMİRHAN
Dr. Öğr. Üyesi Osman Hulusi Ören
Doç. Dr. İslam GÖKALP**

Yüksek sıcaklık etkisi altında karışım parametrelerine bağlı olarak çimento esaslı lif donatılı kompozitlerin temel mühendislik özelliklerinin incelenmesi mevcut çalışmanın temel amacını teşkil etmektedir. Bu amaç doğrultusunda, 36 farklı karışım tasarlanmıştır. Bu karışımlarda pirinç kaplı çelik lif ve polipropilen lifi kullanılmıştır. Üretilen numuneler, su, hava ve poşette kür olmak üzere üç farklı kür rejiminde test yaşına kadar bekletilmiştir. 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları için numuneler 250 °C sıcaklığa maruz bırakılıp, öncesi ve sonrası şartlar için mikroyapısal özelliklere ilave olarak basınç dayanımı ve ultrases dalgası geçiş hızı gibi temel mühendislik özellikleri incelenmiştir. Tasarımda, tüm karışımlar için hava sürükleyici katkı oranı, su/bağlayıcı oranı ve agrega/bağlayıcı oranı sırasıyla %0.6, 0.3 ve 1.5 olarak sabit seçilmiştir. Deney sonuçları, polipropilen liflerin çimento esaslı matrislerde kullanılmasının, yüksek sıcaklık etkisi altında basınç dayanımı gibi temel mekanik özellikleri üzerine çok az bir etkiye sahip olduğunu ve polipropilen liflere kıyasen çelik lif kullanımında artık mekanik özelliklerin geliştiğini göstermiştir. Hibrit lif kullanılarak üretilen numunelerin performans özellikleri PP lif içeren lif donatılı kompozitlere göre daha iyi gözlemlenirken, pirinç kaplı çelik lif içeren numunelere göre daha kötü olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç dayanımı, kür rejimi, taramalı electron mikroskopu, ultrases dalgası geçiş hızı, yüksek sıcaklık.

ABSTRACT

MS THESIS

FUNDAMENTAL ENGINEERING PROPERTIES OF CEMENT-BASED FIBER-REINFORCED COMPOSITES EXPOSED TO ELEVATED TEMPERATURE

Muhammed Yusuf GÖZKESER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Serhat DEMİRHAN

2024, 107 Pages

Jury

Associate Professor Dr. Serhat DEMİRHAN

Assist. Prof. Dr. Osman Hulusi Ören

Associate Professor Dr. İslam GÖKALP

The main purpose of the current MSc thesis is to examine the effect of high temperature on fundamental engineering properties of cement-based fiber-reinforced composites depending on the mixing parameters. For this purpose, 36 different mixtures were designed. Brass coated steel fiber and polypropylene fiber were used in these mixtures. Produced samples were kept in three different curing regimes as water curing, air curing and impermeable bag curing until the testing age. The samples were exposed to 250 °C at the curing ages of 7, 28 and 90 days and then basic engineering properties such as compressive strength and ultrasonic pulse velocity were investigated for before and after exposure to fire. In the design, air entrained admixture ratio, the water to binder ratio and aggregate to binder ratio were kept constant at 0.6%, 0.3 and 1.5, respectively, for all mixtures. The experimental results showed that the utilization of polypropylene fiber in cementitious material has little effect on the fundamental mechanical properties such as compressive strength under the influence of high temperature, and the residual mechanical properties are improved in the use of steel fibers compared to polypropylene fibers. The performance properties of the samples produced with the utilization of hybrid fibers were better than the fiber reinforced composites produced with the use of PP fiber, while it was worse than that of produced with the use of brass coated steel fiber.

Keywords: Compressive strength, curing regime, high temperature, scanning electron microscopy, ultrasonic pulse velocity.

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca her türlü nimetini esirgemeyen ve yüksek lisans serüvenimi hakkıyla bitirmemi nasip eden Rabbime şükürler olsun.

Yüksek lisans tez çalışması süresince sabırla beni destekleyen, araştırmalarımın her aşamasında bana engin deneyim ve bilgilerini aktarıp yol gösteren, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca hoşgörüsü, samimiyeti ve anlayışı ile beni her zaman cesaretlendirip destekleyen, motive eden ve yanımda olan her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Serhat DEMİRHAN'a çok teşekkür ederim.

Deney çalışmalarım sırasında destekleri ve emeğiyle yardımcı olan İnşaat Yüksek Mühendisi Berfin RAMAZANOĞLU'na ve Öğr. Gör. Necim KAYA'ya laboratuvar, malzeme ve diğer imkânlarından yararlandığım Batman Üniversitesi Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezi (BÜMER) Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'na, hem malzeme hem de teknik desteklerinden dolayı MV Hazır Beton ve Fernas Çimento öğütme ve Paketleme Tesisi (FerÇim) yetkililerine ve çalışan personellerine teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca, tüm eğitim hayatım boyunca beni yalnız bırakmayıp maddi manevi desteklerini eksik etmeyen ve sevgi gösteren değerli aileme çok teşekkür ederim.

Muhammed Yusuf GÖZKESER
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Geleneksel Beton	4
2.1.1. Betonun boşluk yapısı	8
2.2. Lifli Kompozitler	9
2.3. Lif Türleri.....	12
2.3.1. Doğal lifler	14
2.3.2. Yapay lifler.....	15
2.4. Geleneksel Beton ve Lifli Kompozitlerin Farkları.....	26
2.5. Sıcaklık Etkisi	28
2.6. Hava Sürükleyici Katkı Etkisi.....	35
2.7. Kür Koşulları.....	39
3. MATERYAL VE METOD	49
3.1. Materyal	49
3.1.1. Çimento	49
3.1.2. Agregas	50
3.1.3. Hava Sürükleyici Katkı	51
3.1.4. Su	52
3.1.5. Akışkanlaştırıcı	52
3.1.6. Polipropilen Lif	54
3.1.7. Pirinç Kaplı Çelik Lif.....	55
3.2. DENEYSEL METOT	56
3.2.1. Malzemeler ve hazırlanma teknikleri.....	56
3.2.2. Sertleşmiş beton deneyleri	62
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	65
4.1. Basınç Dayanımı	65
4.2. Ultrases Dalgası Geçiş Hızı (UPV).....	71
4.3. Görsel Değişim ve Mikro Yapısal Özellikler.....	76

5. SONUÇLAR.....	81
TEŞEKKÜR	81
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

A	: Hava sürüklenmiş(Air) katkının kullanıldığı numuneler
H	: Polipropilen ve pirinç kaplı çelik lif karışımı olan hibrit lif
I	: Hava geçirimsiz poşette kür edilen numuneler
LDB	: Lif donatılı beton
NA	: Hava sürüklenmemiş(Non-air) beton numunesi
O	: Oda koşullarında kür edilen numuneler
PVA	: Polivinil alkol
PP	: Polipropilen lif
S	: Suda kür edilen numuneler
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SF	: Pirinç kaplı çelik lif
YDB	: Yüksek Dayanımlı Beton

Simgeler

Ca(OH)₂	: Portlandit, Sönmüş kireç
CaCO₃	: Kalsiyumkarbonat
cm	: Santimetre
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal (N/mm ²)
S	: Saniye
s/ç	: Su ve çimento miktarının oranı

1. GİRİŞ

Beton, yüksek basınç dayanımı ve dayanıklılığı ile bilinen, yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Ancak, geleneksel beton, sınırlı çekme dayanımı ve gevrek bir davranış sergiler. Bu özellik, özellikle yangın gibi yıpratıcı çevresel koşullara maruz kaldığında, betonu çatlamaya ve kırılmaya karşı daha hassas hale getirir. Farklı türlerde birçok beton bulunmaktadır ve her biri benzersiz mekanik özelliklere sahiptir. Bu beton türleri, yüksek sıcaklığa maruz kaldığında dayanım, çatlama, dağılma ve dayanıklılık açısından farklı bir davranış sergiler (Topal, 2022).

Geleneksel beton, doğasından kaynaklanan zayıf yönleri ile öne çıkmaktadır. Bu eksiklikleri aşmak ve özellikle yangın gibi zorlu dayanıklılık sorunlarına karşı betonun performansını artırmak amacıyla, lif donatılı beton (LDB) umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. LDB, yeterli çekme dayanımı sağlamak ve yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında malzemenin çatlamaya ve dağılmaya karşı direncini artırmak için beton matrisine homojen olarak dağılmış ayırık lifler eklenmesini içerir. Literatürden elde edilen bilgiler, çimento esaslı malzeme karışımlarındaki bileşenlerin değiştirilmesinin, yüksek sıcaklıklara karşı farklı bir tepki gösterebileceğini açıkça göstermektedir (Durmuş ve Arslan, 2010; Sancak & Şimşek, 2006). Bu durumun nedeni, karışımlardaki çeşitliliğin, soğutma yöntemlerinin, ısıtma hızlarının ve yeni malzemelerin ele alınması için bir dizi zorluğa neden olmasıdır. Çimento esaslı malzemelerin yüksek sıcaklıklara karşı direnci, kullanılan çimento türü, agrega özellikleri, yüksek sıcaklık seviyesi ve süresi, yapı elemanı boyutu, geometrisi ve nem içeriği gibi bir dizi faktöre bağlıdır (Şah, Akashah ve Shafigh, 2019; Derinpınar, Özcan ve Karakoç, 2022). Bu faktörlerin yanı sıra, dört önemli değişken, araştırmacılar ve mühendislerin büyük ilgisini çekmiştir: sıcaklık derecesi, lif tipi, hava sürükleyici katkı ve kür rejimleri. Bu parametrelerin her birinin etkisini anlamak, pratik uygulamalarda LDB'nin yangın performansını optimize etmek için son derece önemlidir.

Yüksek sıcaklık, çimento esaslı yapı elemanlarının yapısal güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturur. Çimento esaslı malzemeler, yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında, hem dayanım hem de dayanıklılık açısından performanslarında farklı seviyelerde azalma gösterirler. Bu nedenle, yangına maruz kaldıktan sonra çimento esaslı bir matrisin dayanıklılık performansının düşmesi kaçınılmazdır. Yüksek sıcaklığa maruz kalma, çimento esaslı yapı malzemelerinin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık performansını geri dönüşü olmayan bir şekilde olumsuz etkiler. Ayrıca, agrega türü ve beton katkı maddeleri gibi faktörler de çimento esaslı malzemelerin

yangın performansını tahmin edilemeyecek şekilde etkiler; bu parametreler, pek çok araştırmacı tarafından geniş kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Memon, 2019).

Yüksek sıcaklıklarda, nem içeriğindeki değişiklikler, bileşenlerin kimyasal ve fiziksel transformasyonları, ısıtma ve soğutma rejimlerindeki varyasyonlar, agrega türü ve su-çimento oranındaki değişiklikler gibi faktörler, betonun özelliklerinde değişikliklere neden olabilir. Bu bağlamda, betonun yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı ve yapı elemanının mikro yapısal durumu, (a) bileşenlerin termal ve mekanik özelliklerine ve (b) betonun heterojenliğine ve sıklığına bağlı olarak içindeki sıcaklık yayılımına bağlıdır. Bu nedenle, yüksek sıcaklığa maruz kalan çimento esaslı malzemelerin performansının, farklı karışım parametreleri ve mikro yapısal karakteristikleri etkileyen kür koşulları gibi faktörlere bağlı olarak detaylı bir şekilde incelenmesi büyük önem taşımaktadır (Zhang, ve diğerleri, 2020).

Çelik, polipropilen, cam ve doğal lifler gibi farklı lif türleri, Lif Donatılı Betonun (LDB) mekanik özelliklerini ve yangın direncini artırmak için kullanılmıştır. Her bir lif tipi, yüksek sıcaklık koşullarında LDB'nin davranışını etkileyebilen farklı özelliklere sahiptir, örneğin erime noktası, narinlik oranı ve termal iletkenlik gibi (Krishna, Kaliyaperumal ve Kathirvel, 2022). Farklı lif türlerinin betonun yangın performansı üzerindeki etkisinin araştırılması, belirli uygulamalar için en uygun lifleri belirlemede önemlidir. Hibrit lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin yangın direnci, lif türü, fiziksel özellikleri, lif dozajı ve beton karışım tasarımları gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Bu bağlamda, çelik lif ve polipropilen lifin sinerjistik etkileşimine odaklanan araştırmaların, karışım bileşenlerine bağlı olarak farklı parametrelere odaklanarak genişletilmesi gerekmektedir (Tawfik, 2022). Betonun artık mukavemeti ile ilgili deneysel araştırmalar kapsamlı olsa da, çok fazlı kompozit bir malzeme olan çimento esaslı malzemelerin mikro yapısal karakteristiği, bileşenlerine bağlı olarak değişkenlik göstereceğinden, mevcut sonuçlar eksik görünmektedir.

Hava sürükleyici katkıların Lif Donatılı Beton (LDB) içerisine eklenmesi, donma-çözülme direncini ve işlenebilirliği önemli ölçüde artırabilir. Ancak, hava boşluklarının varlığı, betonun yangına maruz kaldığı durumdaki davranışını da etkileyebilir (Alhamad, 2022). Yüksek sıcaklık olayları sırasında, hava sürüklenmiş katkılı karışım ve lifler arasındaki etkileşim, halen devam eden bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Bu ilişkiyi anlamak, karışım tasarımını optimize etmek ve yangına maruz kalan Lif Donatılı Betonun dayanıklılığını sağlamak için oldukça önemlidir. Öte yandan, betonun istenen mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını elde etmek için uygun kürlenme esastır. Özellikle, çimento esaslı malzemenin içindeki nem, yüksek sıcaklık etkisi altında buhar basıncını tetikleyebileceği için

sıcaklığa maruz kalınan süreçte numunedeki nem durumu da büyük önem taşımaktadır (Ashkezari, 2020).

Mevcut deneysel çalışma kapsamında, münferit ve hibrit lif donatılı kompozitlerin, lif türü, hava sürükleyici katkı, farklı kür koşulları (suda, dışarıda ve poşette) ve yüksek sıcaklık değerine bağlı olarak temel mühendislik özellikleri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, su-bağlayıcı oranı 0,3 ve agrega-bağlayıcı oranı 1.5 olan toplam 36 karışım tasarlanmış ve bu tasarıma göre üretilen numunelerin 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları için basınç dayanımı, ultra ses dalgası geçiş hızı (UPV), fiziksel değişim (ağırlık kaybı) ve mikro yapısal özellikler (taramalı elektron mikroskopu, SEM) incelenmiştir.

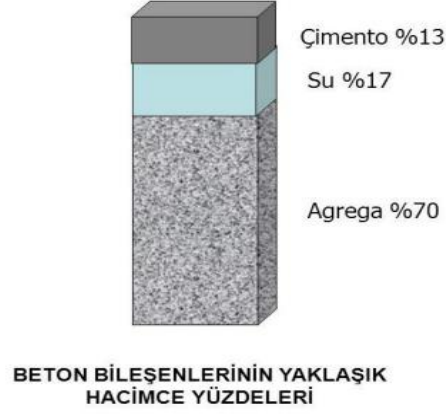
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Geleneksel Beton

Yapı malzemelerinin gelişimi insanların yakın çevrelerinden kolayca temin edebilecekleri hammaddeleri kullanmasıyla başlamıştır. Kil ve çamurdan elde edilen ilk harç olan kerpiç, medeniyetin ilk yıllarından beri kullanılmıştır. Daha sonra bağlayıcı malzemelerin gelişimi ve çeşitlenmesiyle birlikte; Mısır'da alçı, Roma'da kireç ve puzolanlar, Osmanlı'da kireç harcı ve horosan harcı, Avrupa'da grafit ve su kireci gibi bağlayıcı malzemeler kullanılarak harçlar oluşturulmuştur. Yapı malzemesi olarak kullanılan harç işlevine yönelik uygulamalar, yıllar içinde farklı malzemelerle değişip gelişerek günümüze kadar gelmiştir. 19. yüzyılın başlarında çimento ile ilgili gelişmelerin sonucunda, beton endüstrisinde hızlı bir ilerleme kaydedilmiştir. (Kurt, 2006; Uğur ve diğerleri, 2016).

Beton, inşaat endüstrisinde kullanılan en temel yapı malzemesidir. Kolay hammadde temini, ulaşım, ekonomik iş gücü, kolay işlenebilirlik, ekonomik avantajlar, ekolojiklik, sürdürülebilir özellikler, taşınabilirlik, yerleştirilebilirlik, yeniliklere açıklık, bakım ve onarım maliyetinin alternatif malzemelere göre daha uygun olması gibi bir dizi nedenle tercih edilmektedir (Tokyay, 1995).

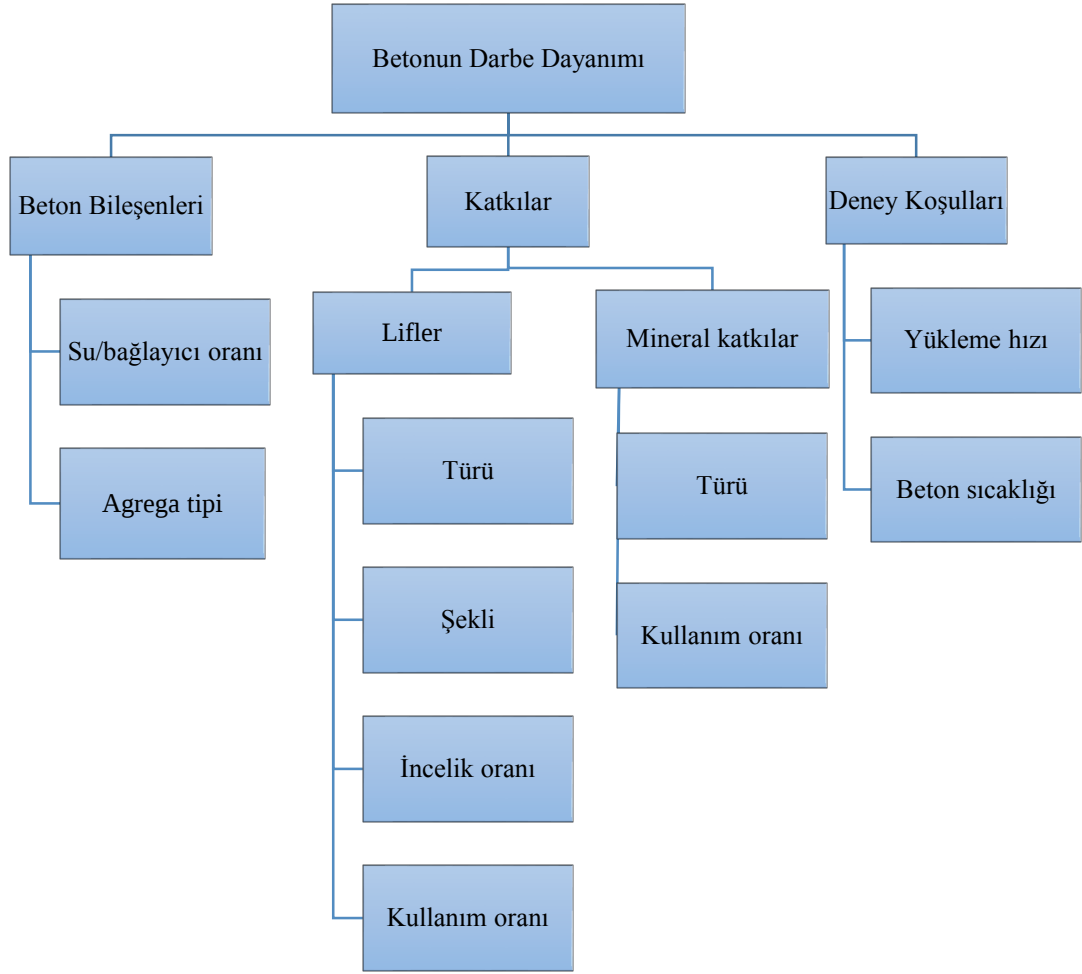
Geleneksel beton, yaklaşık 20 MPa ile 50 MPa arasında basınç dayanımlarına sahip, doğal taneli agregalar kullanılarak üretilen bir yapı malzemesidir. Birim ağırlıkları genellikle 1800 kg/dm^3 ile 2800 kg/dm^3 arasında değişir. Şekil 2.1'de verildiği gibi betonun mutlak hacminin yaklaşık %70'ünü agrega, %13'unu çimento ve %17'ini içme suyu oluşturur. Gerekli durumlarda, betonun mevcut özelliklerini iyileştirmek amacıyla çimento ağırlığının yaklaşık %2'sine kadar kimyasal katkı maddesi eklenebilir. Geleneksel beton, yol, köprü, tünel, bina gibi üst ve alt yapı projelerinde kullanılan önemli bir yapı malzemesidir. Özellikle istenilen basınç dayanımı aralığına sahip olması, kullanım kolaylığı ve çeşitli projelerde uygulanabilirliği nedeniyle tercih edilmektedir (Cingi, 2017).



Şekil 2.1. Hacimce Betonun bileşenleri (BETON NEDİR?, tarih yok)

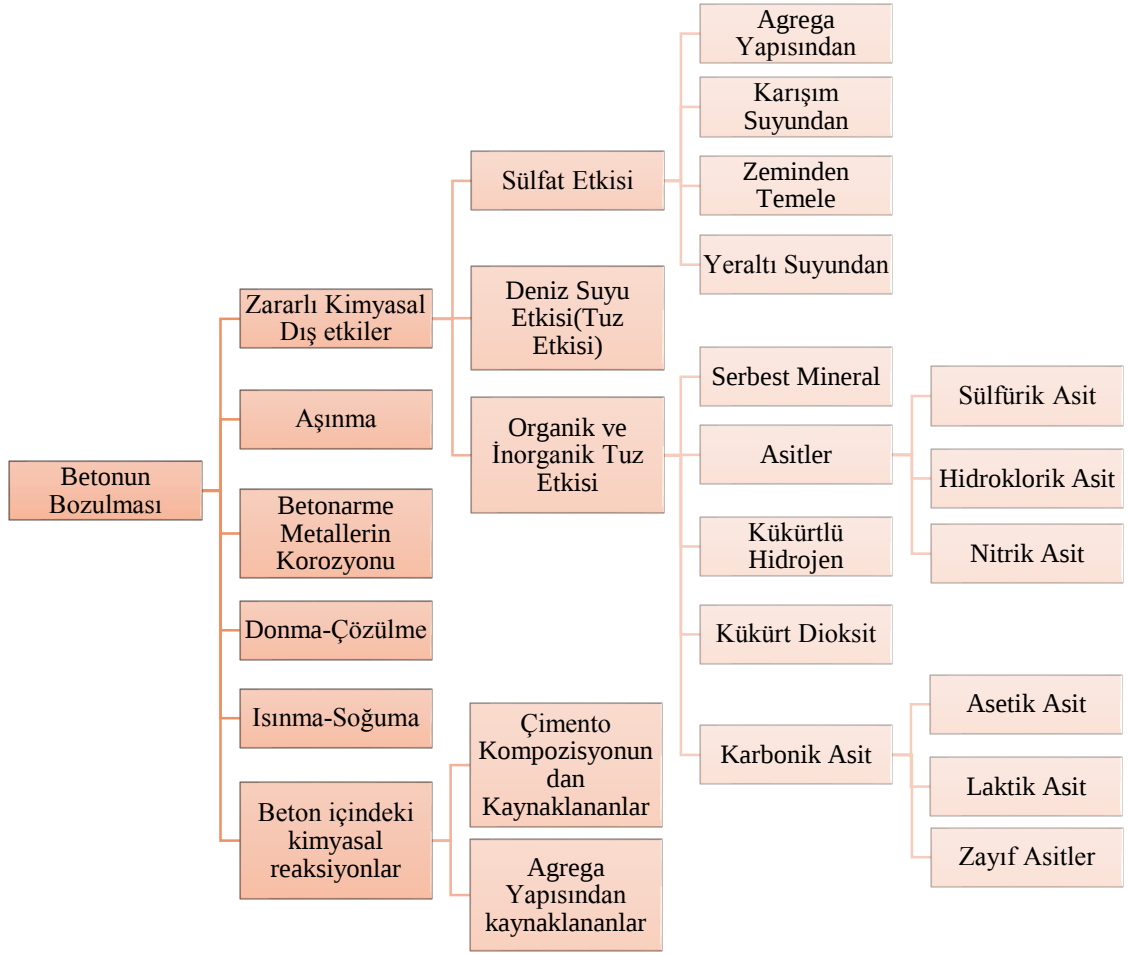
Tablo 2.1’de de belirtildiği üzere betonun darbe dayanımını etkileyen pek çok parametre vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek betonun sert bir yapı kazanmasını sağlayan temel bağlayıcı bileşendir. Agregalar, kum ve çakıl gibi malzemelerden doğal veya yapay yollarla elde edilebilirler. Agregalar, betonun dayanıklılığı ve dayanımı için temel malzemelerden biri olup betonun iskeletini oluşturur. Tasarlanan betonda su/çimento oranı önemlidir, çünkü düşük su/çimento oranına sahip karışımlar, daha yüksek dayanımlı betonlar elde edilmesini sağlar. Su oranının fazla olması ise dayanımı düşürür ve işlenebilirliğe olumsuz yönde etki eder. Bununla birlikte, betonun dayanımını etkileyen diğer bir parametre de karıştırma süresidir. Betonun karıştırma süresi arttıkça harç su kaybeder ve dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik olumsuz etkilenir. Bu nedenle, beton karışım hesabı tam ve eksiksiz bir şekilde birçok parametre göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Malzemeler doğru oranda karıştırılmalı ve uygun sürede karıştırılmalıdır.

Tablo 2.1. Betonun darbe dayanımı etki değişkenleri (Alkayış ve diğerleri 2021)



Kullanılacağı yere bağlı olarak betondan beklenen bazı özellikler bulunmaktadır. Bu özelliklerin bir kısmı, kullanılan maddelerin kimyasal ve mineralojik yapısıyla betona kazandırılırken, bir kısmı ise proje bazlı olarak üretim aşamasında betona eklenir. Taze betonda istenen özellikler arasında kolay işlenebilirlik öne çıkmakla birlikte, maddelerin homojen bir dağılım sergilemesi ve segregasyon olmaması gibi özellikler de aranır. Sertleşmiş betonda ise yüksek dayanım, dayanıklılık, geçirimsizlik, aşınma, donma ve çözünme direnci ile estetik bir görünüm gibi özellikler talep edilir. Genel olarak, beton veya betonarme yapılar çevresel etkilere karşı dayanıklı olmalıdır (Erdoğan, 2003). Betonu etkileyen pek çok farklı etken vardır ve bu etkenlerin bir kısmı Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Betondaki bozulma türleri (Küçük, 1998)



Su etkisi, donma-çözünme döngüleri, kimyasal etkiler, yüksek sıcaklık gibi faktörler betonun dayanıklılığını ve dayanımını olumsuz etkileyebilir. Günümüzde beton, zararlı çevresel etkiler, üretim ve kullanım hataları gibi farklı iç ve dış etkenlerden dolayı tasarımda istenen özellikleri sergileyemeyebilir. Bu nedenle, beton zamanla kullanıldığı yere göre geliştirilmeye ve iyileştirilmeye ihtiyaç duyulmuştur (Erdoğan, 2003).

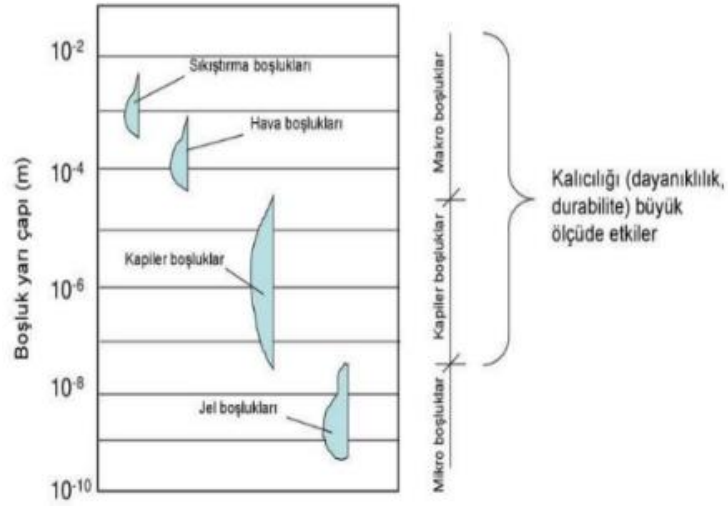
Beton, darbe, aşınma gibi etkilerden kaynaklanan mekanik bozulmaya; dışarıdan sızan alkali-silika, sülfat gibi tuzların neden olduğu kimyasal bozulmaya; ayrıca sıcaklık farklarından kaynaklanan donma-çözünme gibi etkilere maruz kalabilir (Baradan, 2003; Özalp, 2006).

Beton bozulmalarını önlemek veya minimize etmek amacıyla, geleneksel betonun mevcut özelliklerinde iyileştirmeler yapılarak özel beton türleri geliştirilmiştir. Projeye özel olarak tasarlanabilen bu beton türleri arasında kendiliğinden yerleşen betonlar, hafif betonlar, püskürtme betonlar, mineral katkılı betonlar, lifli betonlar gibi çeşitli seçenekler bulunmaktadır.

Özel beton türleri, genellikle geleneksel betonlara göre daha uzun ömürlü ve dayanıklı olmalarına rağmen maliyet açısından daha yüksek olabilirler (Özalp, 2006).

2.1.1. Betonun boşluk yapısı

Betonarme yapıları etkileyen en önemli faktörler, beton içerisindeki yeterli miktarda su varlığı ve beton harcı içerisindeki boşluklardır. Betonda bulunan boşluklar ve kanallar aracılığıyla taşınabilen zararlı maddeler, istenmeyen etkilere neden olabilir. Beton matrisinde bulunan boşluklar Şekil 2.2’de verilmiştir. Korozyon, donma-çözünme döngüleri, alkali silika reaksiyonları, sülfat saldırısı gibi betonun ömrünü, dayanıklılığını ve dayanımını etkileyen en önemli faktör boşluktur. Boşlukların dağılımı, miktarı ve boyutları istenmeyen etkilerin temelini oluşturduğundan, çeşitli yöntemler kullanılarak minimize edilmelidir.



Şekil 2.2. Çimento hamurunda bulunan boşluklar (Şimşek)

Beton harcındaki boşluklar incelendiğinde, jel boşlukları, kapiler boşluklar, hapsolmuş hava boşlukları gibi farklı nedenlere bağlı olarak oluşan çeşitli boşluk türleri görülmektedir. Beton içindeki boşluklar, genellikle beton hacminin %1-%10'unu oluşturabilir. Jel boşlukları, betonun hidratasyonu sırasında oluşan CSH jellerinin içinde bulunan boşluklardır ve bu boşluklar, karbon silika hidrat jellerinin yaklaşık %28'ini kaplayabilir. Kapiler boşluklar ise çimento hidratasyonu sonucunda oluşan CSH jelleri arasındaki boşluklardır ve betonun durumuna göre değişebilir. Beton kurduğunda bu boşluklardaki su buharlaşırken, beton su aldığı anda ise boşlukların içi su alır. Hapsolmuş hava boşlukları, taze betonun karıştırılması ve serilmesi sırasında istenmeden ve dağınık bir şekilde oluşan boşluklardır ve taze beton içindeki hacmi genellikle %0,5 ile %3 arasında değişir. Sürüklenmiş hava kabarcıkları ise bilinçli olarak ve istenerek oluşturulan boşluklardır. Bunlara ek olarak, beton içinde donatının alt tarafında

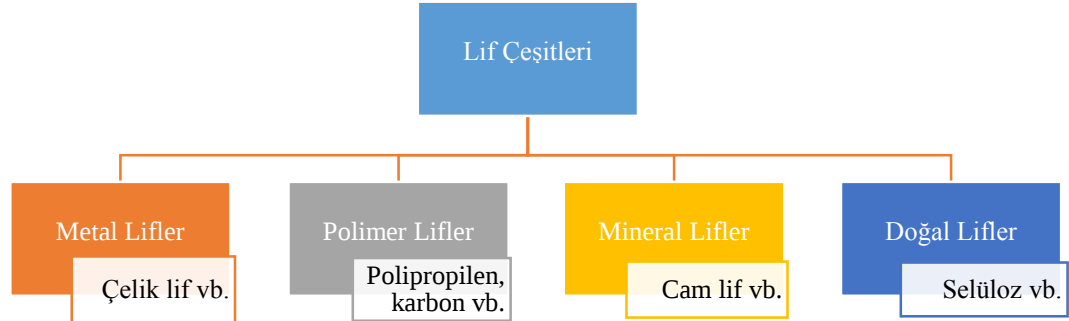
veya iri agregaların altında biriken sular nedeniyle oluşan boşluklar, terleme sonrası buharlaşan sudan kaynaklanan boşluklar, kuruduktan sonra büzülen beton hamuru ve agrega arasında oluşan boşluklar da mevcuttur.

2.2. Lifli Kompozitler

Kompozitler; kullanım amacına yönelik özellikleri güçlendirmek için en az iki farklı malzeme grubunu, birbiri içinde çözünmeden uygun kombinasyonlarla bir araya getiren yeni bir malzeme grubudur (Çağar, 2021).

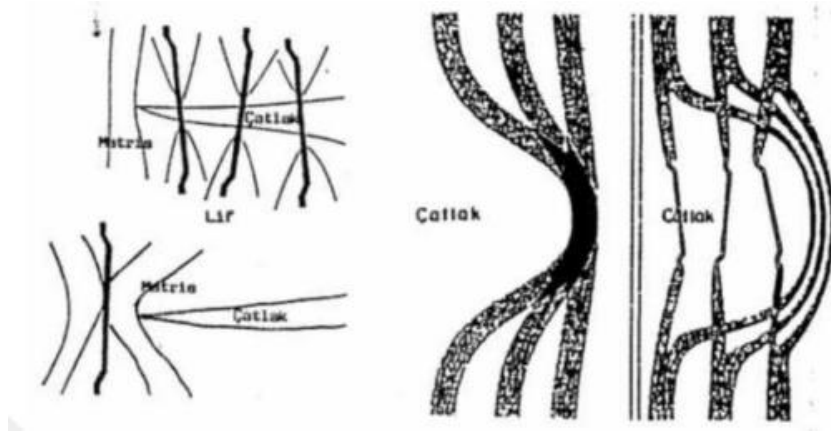
Lifler, ilk çağlardan beri farklı şekil ve formatlarda bitkisel, hayvansal, organik ve inorganik kökenli olarak elde edilerek kullanılmıştır. Eski çağlardan itibaren kil, saman, keçi kılı, atkuyruğu, at yelesi, asbest lifleri, sarmaşık dalı gibi çeşitli lif türleri, yapı malzemesinin çekme ve eğilme yüklerine karşı dayanımını artırmak ve gevrekliği azaltmak gibi nedenlerle tercih edilmiş ve zamanla yapı malzemesinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır (Teker, 2012). Kullanılan lifler arasında organik olanların zaman içinde bozulup çürüdüğü gözlemlenmiş ve bu nedenle farklı lif türleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen farklı lif türleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Elde edilme türlerine göre lifler (Topsakal ve diğerleri, 2018)



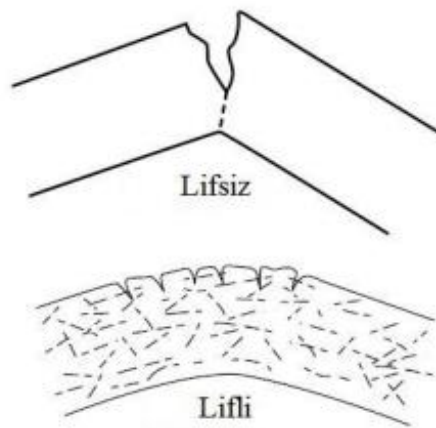
Lifli kompozitler, temel olarak iki faza sahip bir yapı olarak kabul edilir. Bu kompozitlerde, matris malzemesi sürekli bir fazı oluşturur ve lifleri bir arada tutarak stabilite sağlar. Matris, kompozit içinde geniş bir hacmi kaplayarak, kompozitin ana bileşeni olarak düşünülebilir. Lifler ise kompozitte ikinci bir faz olarak yer alır ve donatı işlevini görür. Betonun maruz kaldığı yüklemeler, basınç ve mekanik etkiler beton matrisi aracılığıyla karşılanırken; lifli betonlarda bu yüklerin karşılanma durumuna lifler de katkıda bulunur. Lifli kompozitlerde gelen yükler öncelikle matrise, daha sonra ise liflere aktarılır. Lifler, taşıyabileceği ölçüde yükleri taşır ve taşıyamadığı durumda çatlak gelişimi, bir sonraki lifle

karşılaşana kadar devam eder. Liflerin kullanılmasıyla matriste oluşturulan bağ, çatlak gelişim mekanizması ve gerilme kuvvetlerini aktarmaları Şekil 2.3'te verilmiştir.



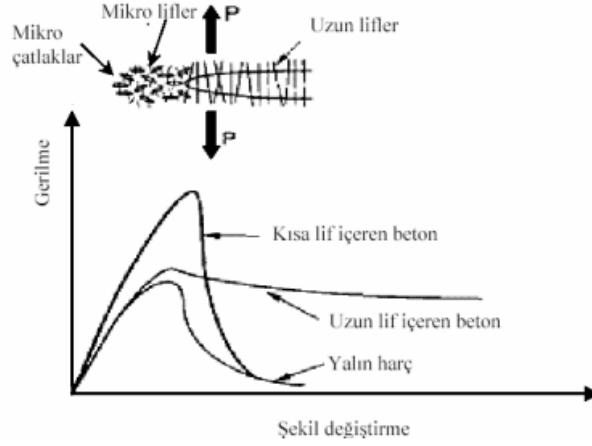
Şekil 2.3. Liflerin gerilme kuvvetlerini aktarması (Sarı, 2013)

Lifli kompozitler, özellikle çekme, eğilme ve çarpma dayanıklılığında önemli artışlar sağlayabilir. Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi yük altındaki beton numunelerinde liflerin kullanılması ile birlikte mühendislik özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Matris malzemesi, lifleri sararak bir arada tutar, yükleri aktarır ve donatıyı dış etkilerden korur. Aynı zamanda, matris, kompozitin içsel gerilmelerinin bir kısmını taşıyarak liflerde oluşabilecek çatlama ve kopmaları tolere eder, bu da kompozitin tokluğunu artırır. Bu yapıda, matrisle lifler arasında kimyasal bir bağ bulunmaz; iletim, kayma kuvveti yoluyla gerçekleşir.



Şekil 2.4. Eğilme deneyine tabi tutulan kiriş numuneleri (Mehta, 2006)

Lifli kompozitlerde, matris ve lifler arasında güçlü bir aderansın bulunması önemlidir. Bu aderans, lifin pürüzlülüğü, boyutu ve girintili-çıkıntılı yapısı gibi özelliklerle sağlanır. Farklı boyutlara sahip liflerin şekil değiştirme üzerindeki etkisi Şekil 2.5'te verilmiştir.

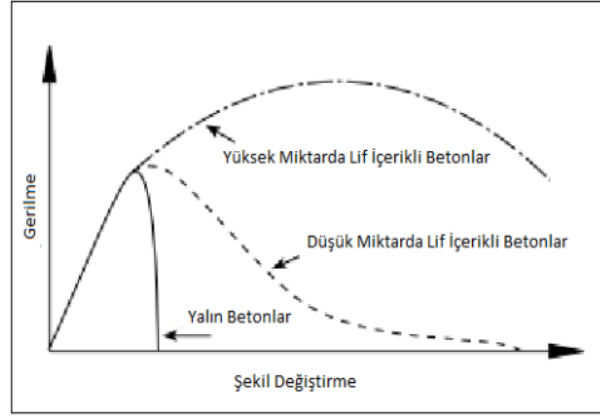


Şekil 2.5. Çatlak köprülenmesine farklı lif boyutlarının etkisi (Sarı, 2013)

Matris ve lifler arasındaki aderans, liflerin taşıma kapasitesini artırır ve mekanik etkilerin sorunsuz bir şekilde iletilmesini sağlar. Ayrıca, matris ve lifler arasında kimyasal etkileşimlerin olmaması ve ısı genleşme katsayılarının benzer olması tercih edilir. Bu, kompozitin termal ve kimyasal uyumluluğunu artırır. Kimyasal etkileşimin bulunması gibi bir durumda ise kompozit malzeme içerisinde gerçekleşecek olan kimyasal süreçte açığa çıkan ısı, çatlak gelişimini hızlandırabilir, hidrasyon için gerekli olan suyu veya su buharını betondan uzaklaştırabilir ve betonda istenmeyen sonuçlara neden olabilir.

Lifli kompozitlerin üretiminde genellikle belirli boyutlarda çelik teller, cam lifleri, polimer elyaf ve asbest lifleri gibi malzemeler kullanılır. Bu lifler, kompozit içinde gelişigüzel bir şekilde dağılmıştır. Üretim yöntemleri arasında ön karıştırma, püskürtme ve örgü elyaf kullanma gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler, kompozit içindeki liflerin dağılımını farklı şekillerde etkileyebilir.

Genel olarak, liflerle donatılmış kompozit malzemeler, çeşitli mühendislik uygulamalarında dayanıklılığı artırmak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 2.6'da da gösterilen farklı oranlarda lif içeren betonların gerilme şekil değiştirme eğrilerinden de görüldüğü üzere; kompozitler, matris ve lifler arasındaki güçlü etkileşim sayesinde yüksek mukavemet ve dayanıklılık seviyelerine ulaşabilmektedir (Tekler, 2012).

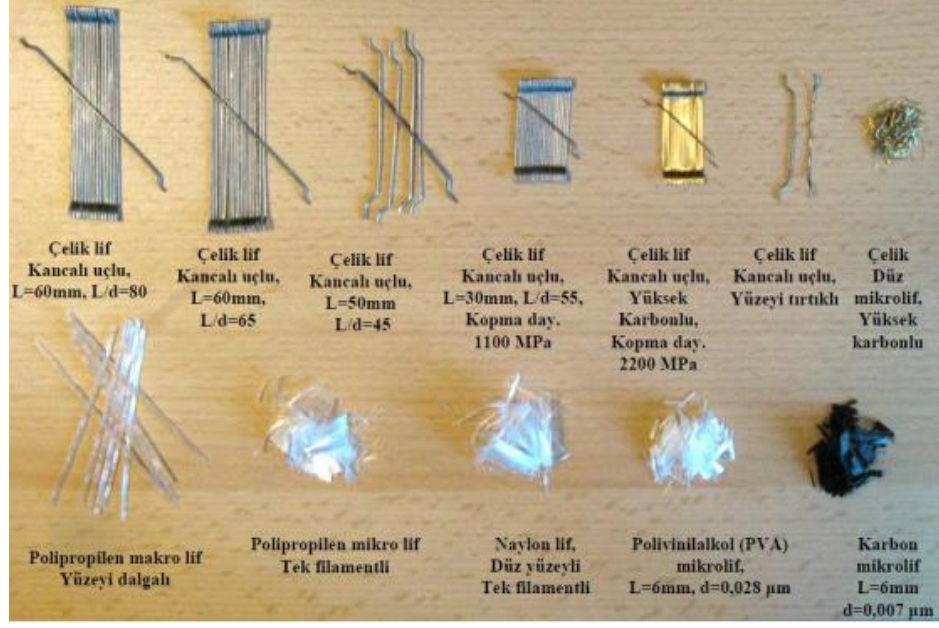


Şekil 2.6. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı (Sarı, 2013)

Betondaki bozulma türlerinin, özellikle yangın gibi durumlarda görülen yüksek sıcaklık etkisi, fiziksel, kimyasal ve mekanik bozulmaların hemen hepsine etki eder. Bu etki, son yıllarda gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlarla birlikte fabrika, termik santraller, havaalanları, gibi yapılardaki elektrik tesisatları, doğalgaz iletim kanalları, kimyasal ve yanıcı gazların yaygınlaşması gibi nedenlerden dolayı büyük bir can ve mal kaybı tehdidi oluşturmaktadır. Betonun bu özelliklerinin geliştirilip iyileştirilmesi için uzun yıllardır yapılan çalışmalar, önemini her geçen gün daha da artırmaktadır (Uysal, 2004).

2.3.Lif Türleri

Lifli kompozitlerin üretiminde, tasarıma göre çeşitli kaynaklardan farklı özelliklere sahip lifler kullanılmaktadır. Çeşitli şekil, boyut, esneklik, dayanım, yoğunluk ve renklere sahip liflerin tanımlanmasında genel kabul görmüş sınıflandırmalar olmasına rağmen kesin bir tanım bulunmamaktadır. Kullanım alanları bakımından birçok lif çeşidi bulunmaktadır. Betonda kullanılan bazı lif çeşitleri Şekil 2.7’de; farklı türdeki liflere ait fiziksel özellikler Tablo2.4’te verilmektedir.



Şekil 2.7. Betonda kullanılan bazı lif çeşitleri (Açıkgenç, 2015)

Tablo 2.4. Lif çeşitlerinin tipik özellikleri (Köroğlu, 2017)

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı(Mpa)	Elastisite Modülü(Mpa)	Maksimum Uzama(%)	Özgül Ağırlık(gr/cm ³)
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Astbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3,0-10,0	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11,0-13,0	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,9
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10,0-25,0	1,5
Mineral Yünlü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-3,5	7,8

Liflerle ilgili tanımlamalarda, lifin genişliği, çapı, boyu, boy-çap oranı (narinlik) ve boyutu gibi ölçüler kriter olarak kabul edilir. Liflerin narinlik oranının düşük, çap ve boyutlarının küçük olması yapısal kusurları minimuma indirmektedir. ASTM (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu) yapmış olduğu lif tanımında;

- Lifin maksimum boyutunun 0,25 mm'den küçük

- Lifin maksimum kesit alanının $0,05\text{mm}^2$ 'den az
- Lif boyunun çapına oranının (çap/boy) en az 10 olması gerekmektedir (Teker, 2012).

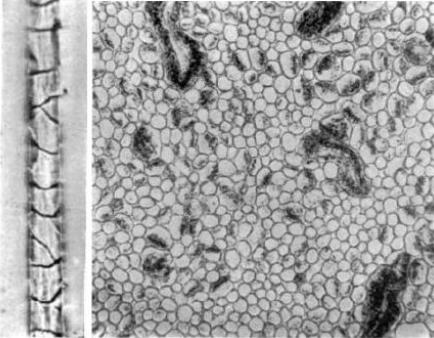
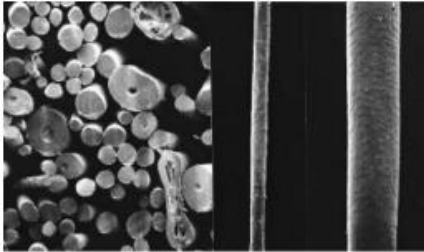
Özellikleri, kullanım alanları ve ham maddeleri bakımından pek çok lif türü vardır. Lifler genel olarak doğal ve yapay olarak ikiye grupta sınıflandırılırlar.

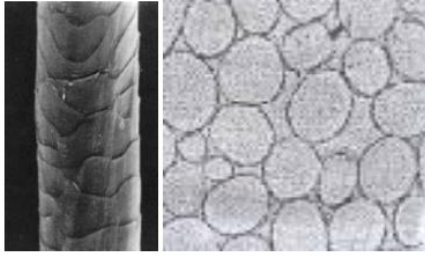
2.3.1. Doğal lifler

Doğadan elde edilen, hiç işlem görmemiş veya az işlem görmüş lifler yerleşik hayata geçişin ilk yıllarından beri kullanılmıştır. Bu maddeler; bitkisel veya hayvansal kökenli olduklarından ekonomiktirler. Yapılarda kullanılan ilk ve en eski lifler doğal liflerdir. Doğal liflerin sünekliliği artırmak ve çatlak gelişimini durdurmak, boşlukları doldurmak, matris ve ara yüz arasındaki bağlantıyı sağlayıp daha dayanıklı bir yapı elde edilmesine katkı sağlamak için kullanılır. Bu lifler doğal olduklarından bozulmaları bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğal lifler su buharını ve sıcaklığı emerler, düşük sıcaklığa duyarlı değildir. Doğal lifler üçe ayrılır;

- Hayvansal Kaynaklı Lifler: Yün, keçi kılı, at kılı, at yelesi, atkuyruğu vb. Bazı hayvansal liflerin görünüşleri Tablo 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.5. Hayvansal yapıya sahip liflerin görünüşleri (Yüce, 2015)

	Misk sığırları liflerinin boyuna ve enine görünümü. Yuvarlak ve oval.
	Deve tüyünün enine ve boyuna görünümü. Yuvarlak ve oval.



Tiftiğin boyuna ve enine görünümü.

Yuvarlak ve oval.

- Bitkisel Kaynaklı Lifler : Saman, sarmaşık dalları, keten, kenevir, bambu, şeker kamışı, mısır püskülü vb.
- Madensel (Mineral) Lifler : Asbest, metal lifler ve karbon madensel liflere örnek olarak verilebilir. Madensel lifler yer altından elde edilen kaynakların çeşitli işlemler aracılığı ile işlenip yeni boyut, biçim ve işlevler kazandırılarak lif haline getirilmesi ile oluşur. Metal liflerin kalın ve sert olmasından dolayı; basınç, çekme, eğilme, ezilme ve bükülebilme gibi hasarlara karşı dayanıklılığa ve dayanıma katkısı diğer liflere oranla daha fazladır. Metal liflerin en önemli özelliklerinden bir tanesi istenilen şeklin verilebilmesi ve bu şeklin elastik geri dönme gibi geri döndürülememesidir. Böylece elde edilen metal lif deforme edilebilir; pürüzlülüğü, girinti-çıkıntıları, kancaları, kıvrımları, çentikleri oluşturulabilir ve kullanıldığı yerde aderansı artırıcı etkide bulunabilir. Asbest lifleri zehirlidir ve kanserojen etki yapar.

2.3.2. Yapay lifler

Yapay lifler; bazı maddelerin çeşitli kimyasal ve mekanik işlemlerden geçirilmesiyle elde edilir. Yapay liflerin üretim ve işleme maliyetlerinden dolayı doğal liflere oranla daha maliyetlidirler. Yapay lifler; polimer ve cam lifler olmak üzere iki başlık altında toplanır.

- Cam Lifler: Cam lifler betonun alkali ortamında yumuşar ve bu nedenden ötürü çimento esaslı kompozitlerde tercih edilmez. Bu lifler camların yüksek sıcaklıklarda eritilmesiyle elde edilen liflerdir. Isıya karşı hassastırlar, suyu emmezler, elektrik iletkenlikleri yoktur.
- Polimer Lifler: İnşaat, tekstil ve kimya endüstrilerinde yapılan çalışmalar ve yenilikler neticesinde polimer lifler üretilmiştir. Bu liflerin çekme mukavemeti yüksektir, yapay olarak elde edildiklerinden dolayı istenilen ölçülerde ve beton içerisindeki ortamdan etkilenmeyen, bozulmayan, kimyasal reaksiyona girmeyen lifler üretilirler. Polimerik lifler beş alt başlıktan oluşur;
 - Poliester lifleri, (Terilen, trevira)

- Poliamid lifleri, (Naylon 6, naylon 6.6, naylon 11)
- Polivinil lifleri, (Akrilik, modakrilik, polivinilklorür, polivinilidenklorür, polivinilalkol, polistren)
- Poliolefin lifleri (Polietilen lifleri, polipropilen lifleri, politetrafluoroetilen lifleri)
- Poliüretan lifleri (Murtadha, 2017; Aral, 2006; Teker, 2012)

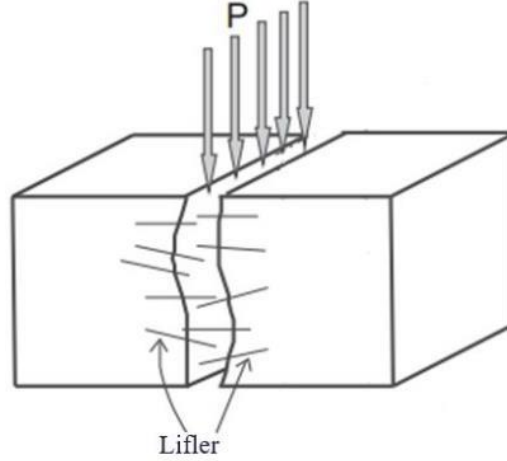
Polipropilen lif türü; polimer liflerden betona katılarak beton özelliklerini geliştirme ve iyileştirmede en etkili olan ve en yaygın kullanılanıdır. Bu lifler darbe ve eğilme direnci, süneklik gibi beton özelliklerini iyileştirir, korozyon, oksijen ve güneş ışınlarından etkilenmez. Segregasyonu (ayrışma) azaltır, betona tokluk kazandırır, aşınmaya karşı direncini iyileştirir, asit ve bazlardan etkilenmez. Taze betonda vibrasyon sırasında oluşan titreşimlerden kaynaklı olarak agregalar dibe çökme eğilimi gösterirken lifler bu duruma engel olarak agregaların dibe çökmesini engeller. Böylece segregasyon azalır ve beton yüzeyinde ufalanma, dökülme, parçalanma gibi olaylar azalır (Teker, 2012).

Çimento esaslı kompozitin hidrasyon aşamasında da kendini göstererek büzülme ve rötre çatlaklarını engelleyici bir mekanizma oluşturur. Beton matrisine yapışarak aderansı artırır. Beton içerisinde bulunan alkali ortamdan etkilenmez ve kimyasal reaksiyona girmez. Beton matrisinde hemen her yönde ve homojen olarak dağılmış olan polipropilen lifler çatlak oluşumu ve gelişimi sırasında çatlağın önüne geçerek çatlak ilerlemesini durdurur. Polipropilen liflerin hammaddesi plastiktir; bu nedenle bozulma ve çürüme göstermez ancak yüksek sıcaklıklardan etkilenerek erirler. İstenilen boyutlarda üretilen bu lifler hafif ve ekonomiktirler. Kullanıldıkları harç içinde düşük de olsa dayanıma katkıda bulunurlar.

Şahin, (2011) yaptığı çalışmada geliştirilmiş vermikülit içeren çelik tel takviyeli çimento esaslı kompozitlerin yüksek sıcaklık altındaki durumunun değerlendirmiştir. Deneylerde, farklı hacimsel oranlara sahip vermikülit/çimento kullanılarak, harçlara 6mm uzunluğunda ve 0,16 mm çapında çelik tel eklenmiş ve 40x40x160 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. 20°C, 300°C, 600°C ve 900°C'de 4 farklı sıcaklıkta deneye tabi tutulan numuneler, oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğutulduktan sonra çimento esaslı lifli kompozit numuneleri, farklı beton deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen verilere göre; çelik lif kullanımının yüksek sıcaklıklarda numunelere mukavemet kazandırdığını gözlemlemiştir.

Akçay ve Taçdemir (2012) yaptıkları incelemelerde; çimento esaslı kompozitlerde işlenebilirlik, akıcılık ve yerleştirilebilirlik gibi özelliklerin liflerin geometrik şekil ve boyutlarından etkilenip buna göre değiştiğini belirtmiştir. Bu nedenle, düz uçlu lifler gibi şekil itibarıyla düz yapıya sahip olan ve karmaşık bir geometrisi bulunmayan lifler, beton içerisinde

daha yüksek oranda kullanılabilir ancak, boyut faktörünün etkisi, uzunluk ve genişliğinin birbirine oranı olan narinlik arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır. Bu nedenle optimum lif oranı belirlenirken; narinlik, boyut, şekil, fiziksel ve kimyasal özellikler de dikkate alınması gerektiğini bulmuşlardır. Liflerin beton matrisini bir arada tutmasına dair görsel Şekil 2.8’de verilmiştir.



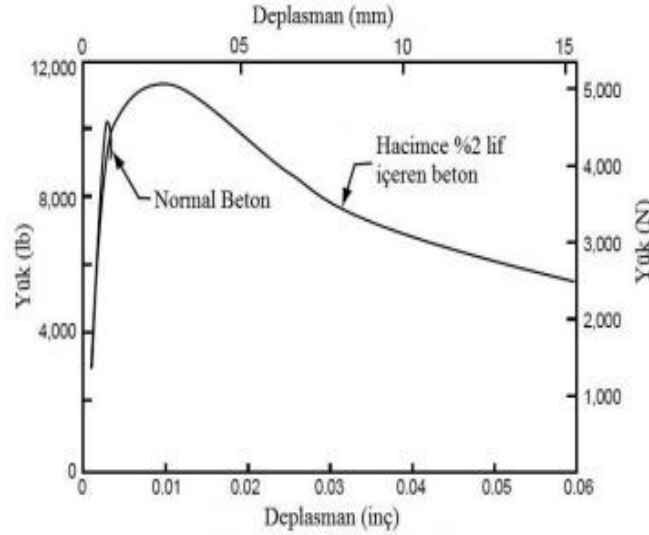
Şekil 2.8. Liflerin beton matrisini bir arada tutması (Akçay & Taşdemir, 2012)

Qureshi ve Ahmed, (2013) yaptıkları çalışmalarında sabit su/çimento oranındaki harca %0-%3.5 oranlarında 8 farklı karışım hazırlamışlardır. Elde edilenler değerlendirildiğinde işlenebilirlik ve lif kullanım oranı arasında ters orantı olduğu ve lif oranının arttıkça işlenebilirliğin azaldığı tespit etmişlerdir.

Hüsem ve Demir (2013) yaptıkları çalışmada çelik lifi, polipropilen lifi ve kontrol numunelerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 6 adet 150x300 mm boyutlarında silindirik numune üretilmiş yaklaşık 23°C olan oda sıcaklığında 28 gün boyunca su küründe muhafaza edilmiştir. Numunelere basınç ve çekme deneyleri yapılmıştır; sünekliliğe etkisi değerlendirilmiştir. Basınç dayanımları ve çekme mukavemetleri yönünden bakılınca çelik lif katkısının polipropilen lif katkısından daha etkili olduğunu ayrıca lifsiz numunelere oranlara daha yüksek dayanım sergilediklerini tespit etmişlerdir. Kullanılan lifler yüklemenin maksimum olduğu noktadan sonra numunede ani bir kırılmanın önüne geçerek sünekliliği artırdığını belirtmişlerdir.

Güngör (2013) yaptığı çalışmada farklı karışım oranlarında harçlar ve farklı boy ile çaplara sahip çelik lifler, polipropilen lifler ve hibrit lifler kullanılarak elde edilen numunelerin mekanik özellikleri, eğilme mukavemetleri, basınç mukavemetleri, enerji yutma kapasitelerini incelemiştir. Elde edilen verilere göre genel olarak basınç dayanımına ve elastisite modülüne

katkısı olmadığı görülmüştür. Hatta lif oranının artması ile birlikte matris içerisinde lif hacmi artar ve topaklaşma, matris malzemelerinin heterojen bir dağılımı, boşlukların artması gibi nedenlerden dolayı basınç dayanımı ve elastisite modülünde azalma meydana getirdiği saptanmıştır. Eğilme mukavemetlerindeki artışları dikkate alındığında ise sırasıyla hibrit lifli beton numuneleri, çelik lifli beton numuneleri, polipropilen lifli beton numuneleri ve kontrol betonları şeklinde sıralanabilir. Liflerin boyutları ve eğilme dayanımları arasındaki ilişki incelendiğinde ise narinlik oranları azaldıkça, eğilme dayanımlarının arttığı ve boyutu kısa olan liflerin de uzun olan liflerin de eğilme dayanımına katkı sağladığı görülmüştür. Liflerin kullanılması ile birlikte yük/deplasman eğrisinin altındaki alanın arttığı tespit edilmiştir. Uzun lifler ve hibrit liflerin kullanılması ile tokluğun arttığı dikkat çekmiştir. Farklı betonlara ait eğilme deneyi verileri Şekil 2.9’da verilmiştir.

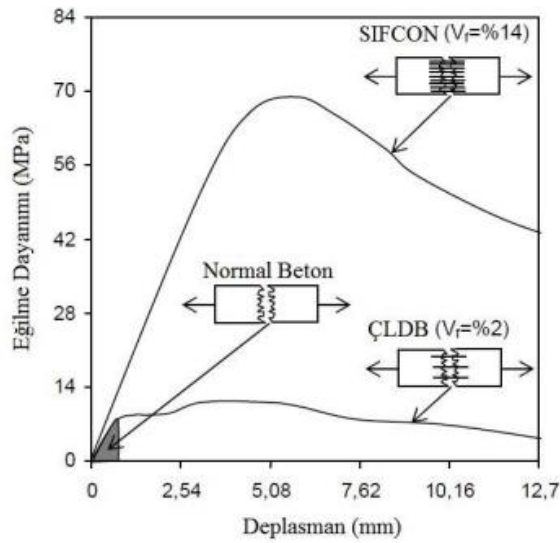


Şekil 2.9. Eğilme deneyi sırasında oluşan tipik yük/deplasman eğrileri (Açıkgenç, 2015)

Sarı (2013) yaptığı çalışmada çelik lif, bazalt lif ve iki farklı sentetik olmak üzere dört farklı lifi kullanarak kontrol betonu ile karşılaştırma yapmış; betonun mekanik özelliklerini incelemiştir. 600x150x150 mm ve 150x300 mm boyutlarındaki numuneler üretilerek eğilme, basınç, çekme gibi deneylere maruz bırakılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre çelik lif kullanımı betonun bütün mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Makrosentetik lifler ise eğilme dayanımında ve betonun tokluğunda artışa neden olmaktadır. Bazalt liflerin eklenmesi ile basınç ve elastisite modülünde yüksek bir artış olmamıştır.

İpek, Canbay ve Yılmaz (2015) yaptıkları çalışmada 10 cm boyutlarındaki küp numune ile 4x8x40 cm boyutlarındaki prizmatik sifcon numunesinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Geleneksel betona alternatif olarak geliştirilen yollardan biri de sifcon

betondur. Sifcon beton lifli betona çimento bulamacı emdirilerek elde edilen lifli beton türüdür. Çalışma kapsamında 3 gün buhar kürüne tabii turulan sifcon numunelerine; basınç mukavemeti, çekme mukavemeti, UPV deneyi yapılmıştır. Polipropilen liflerin basınç dayanımı çelik liflere nazaran daha küçük çıkmıştır en yüksek basınç dayanımı ise hibrit lifli numunelerde en yüksek çıkmıştır. Bunda polipropilen liflerin yük taşıyamadığı durumda yükü çelik liflere aktarması etkili olmuştur. Çekme mukavemetlerine bakıldığında ise polipropilen liflerde azalan görülürken çelik liflerde bu durum tam tersine artma şeklindedir. Bütün bunlarla birlikte çelik liflerde paslanma ihtimali de vurgulanmıştır. Yalın veya farklı türlerde life sahip; lifli beton numunelerine ait eğilme dayanımı davranışı şekil 2.10’da verilmiştir.

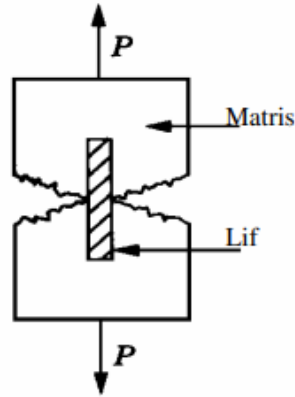


Şekil 2.10. Eğilmeye tabi tutulan yalın beton, çelik lifli beton ve SIFCON’un gerilme-şekil değiştirme davranışı (Açıkgenç, 2015)

Türk ve Kına (2016) yaptıkları çalışmada 10 cm boyutlarındaki küp numune ile 4x8x40 cm boyutlarındaki prizmatik sifcon numunesinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda beton içinde bulunan ve bir nevi betonun iskeletini oluşturan agregaların liflerle birlikte kullanımı zorlu bir süreç olduğunu; özellikle esneme özelliği bulunmayan ve polimerik liflere göre daha kararlı bir yapıya sahip olan çelik lifler betonda kullanıldığında uygulamada karşılaşılabilecek problemlere ek olarak birçok probleme neden olabileceğini belirtmişlerdir. Lif oranı arttıkça, lifler arasında yapışma ve ayrılmama durumu oluşur, bu da liflerin beton içinde homojen bir dağılım sergileyememesine yol açar. Lif kullanılarak üretilen betonlarda işlenebilirliği artırmak için akışkanlaştırıcı türü katkıları kullanılmaktadır. Beton içinde kullanılan lifler, dağılmayı engelleyen sert cisimlerle, agregaya gibi, karşılaştığında liflerin dağılması güçleşmektedir.

Çivici ve Güngör (2016) yaptıkları çalışmada çelik, polipropilen, hibrit lif kullanılarak 11 farklı harç ile 150x150x150 mm küp numuneler üretilmişlerdir. Yapılan analizlere göre matris içerisindeki lif yüzdesi arttıkça enerjiyi absorbe edebilme kapasitesinde artış meydana geldiği görülmüştür. Farklı lifler kullanılarak elde edilen betonlar arasında ise en başarılı sonuçları ise hibrit lifli betonların verdiği tespit edilmiştir.

Türker ve diğerleri (2016) yaptıkları çalışmada ultra yüksek dayanımlı lifli betonlarda eğilme etkisinde lif özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma için beş adet 100x150x150 mm boyutlarında numune üretilmiştir. Numuneler hacimce %1,5 oranında kullanılarak; lifsiz, düz lifli, tek kancalı makro lifli ve çift kancalı makro lifli olacak şekilde üretilmişlerdir. Bütün numuneler içinde en düşük dayanımı lifsiz beton numunelerinin verdiği; süneklilik dışında kalan özellikleri ise en çok çift kancalı beton numunelerinin geliştirdiği belirtmişlerdir. Liflerin sünekliliği önemli derecede etkilemediği ancak yük aşma kapasitesini artırmada etkili olduğu görülmüştür. Çatlak gelişimini önlemeyi, ani gevrek kırılmanın önüne geçmeyi sağladıkları ve numunelerin eğilme dayanımlarını artırdığı tespit edilmiştir. Liflerin matriste meydana gelen çatlamaya etkileri Şekil 2.11’de verilmiştir.



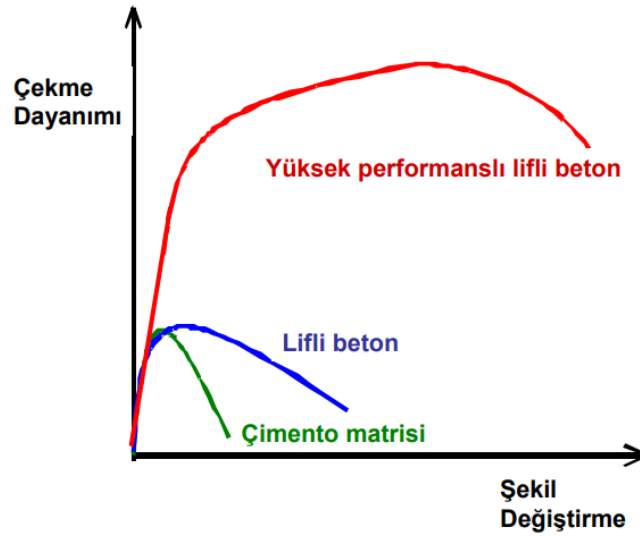
Şekil 2.11. Çatlamış matriste lif-matris ilişkisi (Shah ve diğerleri 1992; Aral, 2006)

Özbay (2016) yaptığı çalışmada kontrol numunesi lifsiz; kalanları ise hacimce %1 oranında olacak şekilde çelik lif, polipropilen lif, polivinil alkol lif kullanılarak beton numuneleri üretmişler ve donma-çözülme, çekme, basınç mukavemetleri üzerine analizler yapmışlardır. 100x200 mm boyutlarındaki silindirik ve 400x100x75 mm boyutlarındaki prizmatik numuneler 28. günde deneye tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda polivinil alkol ve polipropilen lif içeren betonların çelik lifli betonlardan daha düşük donma/çözülme direncine ve eğilme mukavemetine sahip oldukları ancak çelik ve polivinil alkol lif tipinin

bahsedilen özellikleri geliştirdiği görülmüştür. Polipropilen liflerin ise basınç ve eğilme mukavemetlerinde düşüşe neden olduğu belirtilmiştir.

Arslan (2017) yaptığı çalışmada bir adet lifsiz kontrol betonu ve farklı oranlarda bazalt liflerin kullanılması ile 50x100x480 mm boyutlarında üretilen 15 adet lifli numune üzerinde gerçekleştirilen üç noktada eğilme testi ile betonun mekanik özelliklerindeki değişimini incelemiştir. Çalışma neticesinde bazalt liflerin kullanılması ile beton numunelerinin sünekliliğini, eğilmede çekme mukavemetini, tokluğunu artırdığı fakat elastisite modülüne bir etkisinin bulunmadığını görülmüştür.

Korkut ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen betonlara %0.25, %0.5 ve %0.75 oranlarında çelik ve sentetik lifler ilave ederek betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini çeşitli deneylerle incelemiştir. 100x100x400 boyutlarında prizmatik numuneler ve 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numunelere deneye uygunluklarına göre çökme, yayılma, v hunisi deneyi, L kutusu deneyi, basınç, çekme ve eğilme deneyleri yapılan numunelerden elde edilen verilere göre beton içerisindeki lif oranı arttıkça işlenebilirlik olumsuz etkilenir. Liflerin kullanılması ile birlikte kendiliğinden yerleşen lifli betonların basınç mukavemetinde kısmi bir artış gerçekleşirken çekme ve eğilme mukavemetlerinde belirgin bir artış meydana gelmektedir. Beton numunelerinde şekil değiştirme ve çekme dayanımına liflerin ve betonun etkileri Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Çimento esaslı malzemelerde çekme dayanımı/şekil değiştirme ilişkisi (Özyurt, 2006)

Kızılırmak, Aydın ve Yardımcı (2018) yaptıkları çalışmada beş adet farklı narinliğe sahip kancalı çelik lif kullanarak ürettiği lifli betonların darbe yükleri altındaki eğilme

dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 150 mm boyutlara sahip küp numune ve 100x100x600 mm boyutlarında prizmatik numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 28. Gün tek eksenli basınç ve eğilme testlerine maruz bırakılmıştır. Liflerin narinlik oranı ve kanca sayısının artmasına bağlı olarak; işlenebilirliği kötüleştirdiği, eğilme mukavemetinin artış gösterdiğini, beton matrisi içerisinde bulunan liflerin miktarı arttıkça basınç dayanımını artırdığı görülmüştür. Genel sonuç olarak liflerin dayanım sınıflarının, şekil ve boyutlarının, narinlik oranlarının lif kopmalarında etkili özellikler olduğu tespit edilmiştir.

Ağcakoca ve Yaman (2018) çalışmalarında lifli ve lifsiz olmak üzere 100x200 mm boyutlara sahip 8 adet numune silindirik üretilmiştir. Farklı dayanım sınıflarında üretimi gerçekleştirilmiştir. Lif kullanılarak üretilen numunelerdeki lif oranı %2 iken bazı numunelerde lif kullanılmamıştır böylece karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmiştir. Üretilen numuneler 28 gün kür havuzunda kür edilmiş 24 saat boyunca oda koşullarında doğal yollarla kurumaya bırakılmıştır. Beton numunelerine basınç mukavemeti deneyi uygulanmıştır. Lif kullanılarak üretilen numunelerin basınç mukavemetleri lif kullanılmadan üretilenlere oranla düşük çıkmıştır. Bunun temel nedeni olarak ise numunelerin farklı dayanım sınıflarında olmaları ve matris içerisindeki çimento, agrega gibi temel malzemeler arasındaki bağın zayıflaması düşünülmektedir.

Orhan (2018) yaptığı çalışmada farklı karışım parametreleri ve %0, %0.25, %0.5 ve %1 olmak üzere dört farklı oranda çelik lif kullanarak elde ettikleri beton numunelerinin aderans ve basınç gibi özelliklerini incelemişlerdir. İncelemeleri sonucunda çelik lifin kullanılmasının; basınç yükleri etkisinde enerji yutma kapasitesi, darbe direnci gibi değerlerin artışında ve çatlakları önlemede etkili olduğunu görülmüştür. Basınç gerilmelerinde çekme gerilmelerinden daha başarılı performans sergiledikleri tespit etmişlerdir. Çok yüksek mukavemet gerektiren betonlarda çelik lif kullanılmasının etkili olabileceği belirtilmiştir.

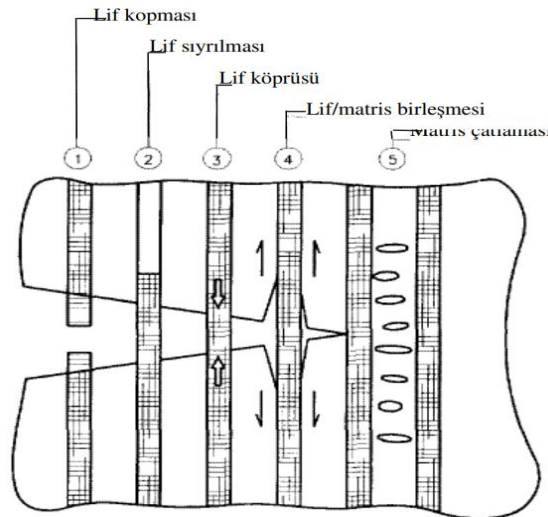
Murthada, Arslan ve Altın (2019) yaptıkları çalışmada cam lifli betonun yangın karşısındaki direnci ve bu dirence cam liflerin etkisini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında cam lifli ve lifsiz olarak 40x40x160 mm boyutlarında 300 adet numune üretilmiş ve 28 gün süre ile kirece doymuş kür havuzunda küre tabii tutulmuştur. Deney yaşı gelen numuneler 30,60, 90 ve 120 dakika yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Numunelere basınç deneyi, tek noktadan çekme deneyi, iki noktadan çekme deneyi ve yarmada çekme deneyleri uygulanmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmayan numunelerde kullanılan cam liflerin basınç mukavemetine etkisi bulunmazken çekme mukavemetini açısından büyük öneme sahiptir. 30 dakika gibi kısa sürelerde yüksek sıcaklığa maruz bırakılan cam lifli betonların çekme dayanımlarında kontrol numunelerine oranla artış gözlenirken daha yüksek sürelerde bu olumlu etkinin devam etmediği

gözlendi. Sonuç olarak Betonlarda kullanılan cam liflerin mekanik özellikleri artırıcı etkisinin bulunduğu söylenebilir.

Karakurt ve Varlı (2019) yaptıkları deneylerde farklı oranlarda polipropilen ve polimer lif kullanarak elde ettikleri numuneler ile normal beton numunesini kıyaslamışlardır. Yaptıkları incelemeler sonucunda kullanılan polimer ve polipropilen lifler kullanılarak hazırlanan harçların eğilme mukavemetlerinde artış meydana gelmiştir.

Tekeli (2019) yaptığı incelemelerde cam, polipropilen ve karbon liflerin farklı oranlarda kullanılmasıyla üretilen numunelerin basınç mukavemetlerinin tayinini yapmıştır. 150x150x150 mm boyutlara sahip numunelerden 150 adet üretilmiştir. Sonuçlara göre kullanılan lif oranı arttıkça basınç mukavemeti başta olmak üzere liflerin homojen dağılmaması, işlenebilirlikte kayıplar gibi olumsuz etkileri mevcuttur. Optimum oranda kullanılması durumunda ise mukavemette ufak artışlar meydana gelmektedir.

Kızılırmak, Aydın ve Yardım (2019) yaptıkları çalışmalarında farklı narinlik oranlarında ve farklı boyutlarda lifler kullanarak eğilme mukavemeti ve basınç mukavemetini incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre işlenebilirlik çelik lif hacmine ters orantılı olmuştur. Beton numunelerinde kullanılan çelik lif oranı, liflerin kanca sayısı, liflerin boy ve çapları arasındaki oranın artması basınç mukavemetini ve işlenebilirliği etkiler. Lif hacmi, yoğunluğu, kanca sayısı arttıkça basınç mukavemetinde artma meydana gelmektedir. Beton matrisinde yer alan liflerin durumu ve gerilme altındaki davranışları Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Lif-Matris mekanizmasının enerji yutması (Zollo, 1997) (Aral, 2006)

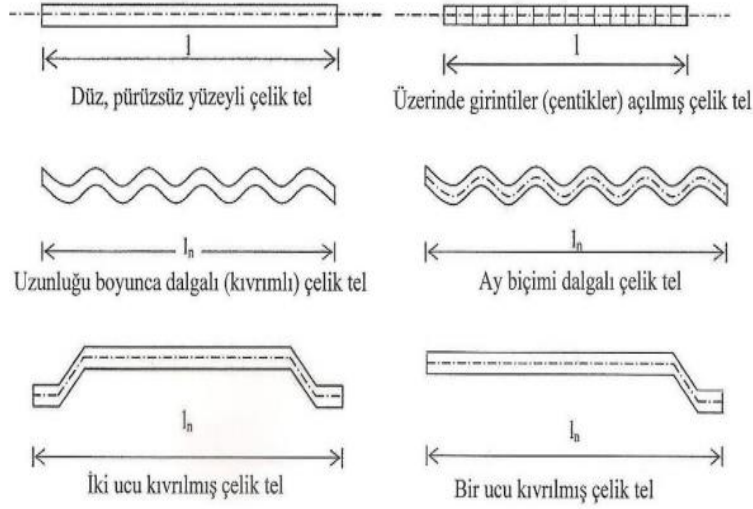
Pekdemir (2020) yaptığı çalışmada betonun çimento, agrega, kimyasal ve mineral katkı gibi parametrelerinin sabit tutulup lif oranı değiştirilmesiyle betonun basınç ve çekme mukavemetlerinde meydana gelebilecek değişimlerin incelenmesi, kıvam değişiminin tespiti, optimum lif oranının belirlenmesi amaçlamıştır. %0.25, %0.50, %0.75, %1, %1.25, %1.5 oranlarında kullanılan polipropilen liflerin betonda %2-3 arasında kıvam kaybına neden olmaktadır. Lif oranı arttıkça basınç mukavemetinde düşüş meydana gelmekte, çekme mukavemeti ise lif oranı ile paralel bir şekilde artmaktadır.

Atalay (2020) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen lifli ve lifsiz beton numuneleri üzerinde yüksek sıcaklığın etkilerini incelemiştir. Beton numunelerine polivinilalkol lifleri, polipropilen lifler, makro çelik lifler ve mikro çelik lifler eklenmiştir. Deney lifsiz, makro çelik lifli ve mikro çelik lif karışımı hibrit lifli ve her üç lif türünün de bulunduğu üçlü hibrit lifli olarak üretilmiştir. Beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, dört noktalı eğilme ve UPV deneyleri gerçekleştirilmiştir. Lifsiz beton numunelerinin çökme ve yayılma çapları en yüksek çıkarken üç lif çeşidinin de kullanıldığı beton numunesinde bu oran en düşük çıkmıştır. Mikro sentetik lifler hariç bütün lif türlerinin basınç mukavemetini artırdığı ancak işlenebilirliği olumsuz etkilediği görülmüştür. Pva liflerinin pp liflerine oranla daha yüksek basınç dayanımı vermesini ve enerji yutma kapasitesini artırmayı sağladığı tespit edilmiştir.

Nasery, Ağcakoca ve Yaman (2020) çalışmalarında dört farklı beton dayanım sınıfına sahip 100x200 mm boyutlarında silindirik şekilli %0 ile %0,3 oranları arasında farklı oranlarda fiber donatı ilave edilmiş beton ve şahit betonu kıyaslayarak eksenel basınç etkisindeki davranışlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında 28 gün su küründe bekletilen numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Lif katkısı kullanımının çatlak gelişimini kısıtladığı parçalanmaların önüne geçtiği ve belli bir orana kadar basınç dayanımını artırdığını tespit etmişlerdir. Ağırlıkça %0,08 ve üzerinde lif oranına sahip numunelerde basınç dayanımını azalttığını belirtmişlerdir.

Şimşek, Toklu ve Ünal (2021) yaptıkları çalışmada çelik lifli çimento ağırlığının %0, %10, %15 ve %20 oranlarında kullanılarak numuneler elde etmiş ve üzerinde aşınma direnci, basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, hava yüzdesi, kıvam kaybı tayini gibi değerlendirmeler yapmışlardır. Yapılan analizlerde lif şekli, boyutu, uzunluğu, çapı, narinliği, oranı gibi parametrelerin bütün değerlendirme kriterlerinde etkili olduğu görülmüştür. Lif oranı arttıkça bu artışa paralel olarak; hava miktarı artmakta, aşınma direnci azalmakta, eğilme mukavemeti artmakta ancak boşluk hacmindeki artışa bağlı olarak basınç mukavemetinde

azalmakta meydana gelmektedir. Farklı geometrik şekillere sahip çelik lifler Şekil 2.14’te verilmiştir.



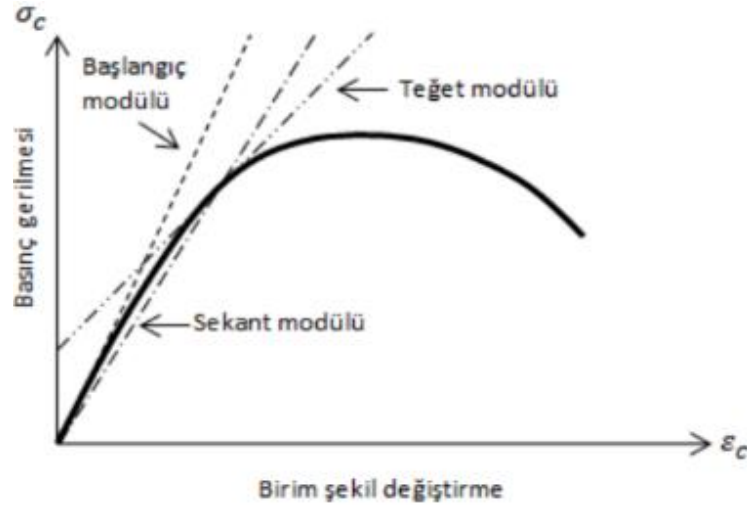
Şekil 2.14. Çelik liflerin şekilleri (Kozak, 2013)

Toklu ve diğerleri (2022) yaptıkları çalışmada farklı hacimsel oranlara sahip cam lif içeren 40x40x160 mm boyutlarında toplam 60 adet numune üretilmiştir. Üretimi yapılan numuneler üzerinde yayılma tablası deneyi, UPV deneyi, eğilme ve basınç deneyi yapılmıştır. Elde edilen verilere göre liflerin kullanılmasıyla oluşan topaklanma ve boşluk hacmindeki artıştan dolayı kontrol betonuna göre genel olarak basınç ve UPV değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Cam liflerin kullanımının artmasıyla birlikte eğilme dayanımı değerlerinde de artışlar meydana gelmiştir.

Akın, Kaplan ve Özel (2022) yaptıkları çalışmada farklı boyutlardaki doğal liflerin beton performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. İnce kıyım, 0.75, 1.5, 3 ve 6 cm olmak üzere farklı uzunluklara sahip mısır yaprağından elde edilen liflerin beton içerisinde hacimce %3 oranında kullanılması ile 18 tane 40x40x160 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere 28 gün kür uygulandıktan sonra yayılma tablası deneyi, eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre numunelerin taze halde yayılma çapları azalmış ve işlenebilirlikleri azalmıştır. Lif uzunluğunun artmasıyla mekanik özelliklerde önce iyileşme gösterirken sonra azalma göstermektedir.

Kızıldağ ve Karakurt (2023) yapılan çalışmada birbirinden bağımsız olarak çelik ve polipropilen liflerin %3, %5 ve %7 oranlarında kullanıldığı sifcon beton ve lifsiz beton üzerinde bir takım analizler gerçekleştirilmiştir. Toplam 7 karışım olarak hazırlanan numuneler

100x100x50 mm ve 100x100x100 mm boyutlarında üretilip 28. Ve 56. günler boyunca küre tabii tutulmuştur. Deney yaşları gelen numuneler basınç ve eğilme deneylerine maruz bırakılmıştır. Elde edilen verilere göre lif miktarı arttıkça eğilme mukavemetinin arttığı ancak basınç mukavemetinin azaldığını; çelik lifli numunelerin basınç ve eğilme mukavemeti açısından daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Şekil 2.15'te lifli betonlar için yaklaşık elastisite modülü eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.15. Lifli betonlar için elastisite modülü tahmini (Yağmur , 2019)

Al-Hagri (2023) çalışmasında nano katkı maddeleri, çelik lifler, pet lifler, polipropilen lifler kullanılarak elde ettikleri 39 adet beton numunesini çeşitli testlere maruz bırakmışlardır ve %1 çelik life sahip beton numunesinin en başarılı sonuçları verdiğini gözlemlemişlerdir.

2.4. Geleneksel Beton ve Lifli Kompozitlerin Farkları

Belli oranlarda agregası, çimento, kum, su, ve gerekli olduğu durumlarda katkıları kullanılarak elde edilen ürüne çimento esaslı kompozit veya beton denmektedir. Geleneksel beton insanlığın yerleşik harekete geçtiği tarihlerden itibaren yapılarda çeşitli malzemeler kullanmıştır. Kullanılan malzemeler dönemin gerektirdiği ölçüde revize edilerek geleneksel betonun özellikleri geliştirilmiştir ve zamanla günümüz görünüm ve özelliklerini elde etmiştir. Geleneksel betonun özellikleri Tablo 2.6'da verilmiştir. Bazı yapılarda; üretici ve kullanıcı hataları, çevresel etkenlerden kaynaklı olarak tasarımda belirlenen ve betondan istenen özellikler sergilenemeyebilmektedir. Bu durumlarda proje bazlı malzemeler tercih edilebilir.

Tablo 2.6. Geleneksel betonun genel özellikleri

Özellik	Geleneksel Beton
Çekme mukavemeti	Çekme mukavemeti lifli betona kıyasla zayıftır.
Çatlak kontrolü	Çatlak kontrolü kısıtlıdır.
İşlenebilirlik	Kolay işlenebilir bir betondur.
Enerji yutma kapasitesi	Sınırlıdır.
Ekonomi	Maliyeti düşüktür.
Kullanım alanları	Çok çeşitli inşaat projelerinde yaygın bir şekilde kullanılır. Apartman, yol, kolon, kiriş, temel, köprü, tünel, fabrika, sanat yapıları gibi pek çok yerde kullanılır.

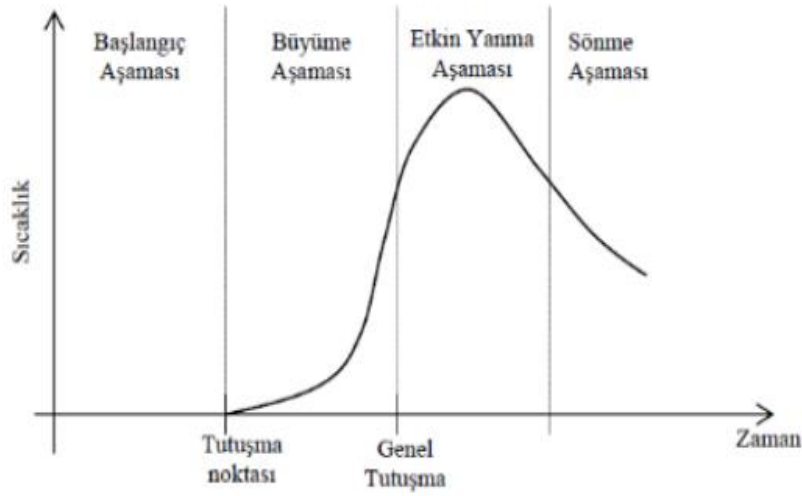
Lifli betonlar ise geleneksel betonda kullanılan malzemelere ek olarak liflerin kullanılmasıyla oluşur. Lifli betonda doğal, polipropilen, çelik, cam, poliüretan, polivinilalkol gibi lif çeşitleri kullanılmaktadır. Kullanılan lifin biçim şekil ve kimyasal özelliklerine göre üretilmiş olan betonun da performansı ve özellikleri değişiklik gösterebilmektedir. Liflern kullanılmasıyla üretilen betonların genel özellikleri Tablo 2.7’de verilmektedir.

Tablo 2.7. Lifli betonun genel özellikleri

Özellik	Lifli Beton
Çekme mukavemeti	Çekme mukavemetini artırır.
Çatlak kontrolü	Çatlakların oluşmasını kısıtlar ve çatlak kontrolünü geliştirir.
İşlenebilirlik	İşlenebilirliğe olumsuz etki eder. Kullanılan lif biçimine göre işlenmeyi zorlaştırması artabilir.
Enerji yutma kapasitesi	Enerji yutma kapasitesini artırır ve oluşan gerilmeleri düzenler.
Ekonomi	Kullanılan lif türüne göre maliyeti değişmekle birlikte geleneksel betona kıyasla daha maliyetlidir.
Kullanım alanları	Bütün inşaat projelerinde kullanılabileceği gibi daha çok özel projelerde tercih edilir. Nükleer santraller, savunma sanayi(emniyet ve askeri yapılar), hava alanları gibi yerlerde kullanılır.

2.5.Sıcaklık Etkisi

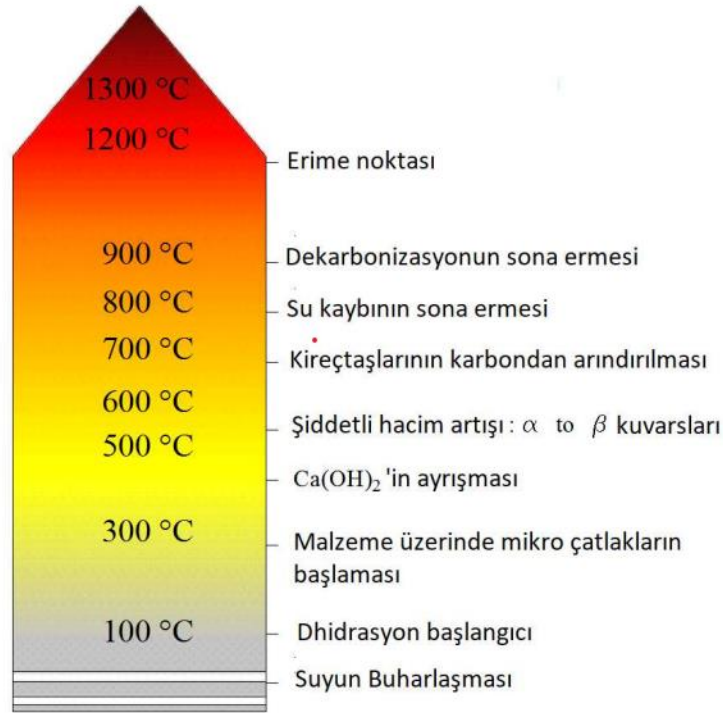
Tasarım aşamasında çimento esaslı kompozitten beklenen özellikler yangın gibi yüksek sıcaklıkların etkisinde sergilenemez. Şekil 2.16’da yangın olayının aşamaları verilmiştir. Bu özellikler sergilenemediğinden ve gelişen teknoloji ile birlikte yapılarda kullanılan elektrik tesisatları, yanıcı ve yakıcı gazlar gibi günlük hayatta sıklıkla karşılaştığımız durumlar can ve mal kaybı tehdidi oluşturduğundan dolayı önlem alınması ihtiyacı hissedilmiş ve bu konuda araştırmalar yapılmıştır.



Şekil 2.16. Yangın olayının aşamaları (Cingi, 2017)

Yüksek sıcaklık etkisine betonun mekanik özelliklerinde olumsuzluklar oluşmaktadır. Betonun dökümünden sonra beton içerisinde oluşan hava boşlukları oluşur. Yüksek sıcaklıkla birlikte beton boşluklarında ısınan hava genleşmeye başlar ve iç gerilmeler ile birlikte beton içerisinde basınç oluşturur. Oluşan iç gerilmeler ve boşluk basıncı neticesinde beton yüzeyinde dökülmeler, parça kopmaları, parça atmaları ve patlamaları şeklinde hasarlar oluşabilir. Bu durumların doğal bir sonucu olarak çatlaklar artar ve dayanım, dayanıklılıkta azalmalar meydana gelir. Yine yüksek sıcaklık etkisinde genleşme katsayıları farklı olan ve beton matrisini oluşturan çimento hamuru, agrega arasında ortaya çıkan ısı uyuşmazlığı neticesinde çatlama ve kırılma kaçınılmazdır (Teker, 2012). Betonun sıcaklık etkisindeki önemli problemlerinden bir tanesi yüzeydeki dökülmelerdir. Betondan uzaklaşmaya çalışan su buharı boşluklar vasıtası ile yüzeye kadar ilerler ve yüzeyde dökülmelere neden olur. Yüksek dayanımlı betonlarda yoğunluk fazla olduğundan matris içerisindeki tutuculuk daha fazla olur ve betonda dökülme yerine yüzey atmaları görülür. Betonarme yapıların sıcaklığa maruz kaldığı durumda yapının en hassas ve zayıf noktasında deformasyonlar görülür. Beton yüzeyi

ve donatı arasındaki mesafenin az olması durumunda donatının ortaya çıkması ve korozyon gibi durumlar oluşur donatı aracılığıyla sıcaklık akışı hızlanacak ve sıcaklığın yapının bütününe ulaşımı kolaylaşacaktır. Bu durum betonun taşıyıcı elemanlarındaki hasarın ne boyutta olduğunu göstermektedir (Uysal, 2004; Sevim, 2019). Betonda oluşan kopma ve parçalanma hasarlarını minimuma indirmek için farklı alternatifler ortaya atılmıştır. Bu alternatif yollardan biri de lifli kompozit malzemeler üretmektir. Örneğin polipropilen lifler yaklaşık 170C’ de eriyerek betondaki hava basıncının dışarı çıkması için hava kanalları oluşturur. Böylece basıncı oluşturan su buharı dışarı sızar ve oluşması beklenen hasarlar minimize edilir. Lifler çatlakları da karşılayarak ilerlemesini durdurur ve hasarlar tolere edilir (Cingi, 2017). Şekil 2.17’de farklı sıcaklık seviyelerinde betonda meydana gelen fiziksel ve kimyasa etkiler aşamalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Betonun termal maruziyeti sırasında meydana gelen kimyasal ve fiziksel etkiler (Taştan, 2022)

Kaya, Karakurt ve Dumangöz (2014) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen betonlarda yüksek sıcaklığın mekanik ve fiziksel etkilerini araştırmışlar. Üretimi yapılan 7 farklı beton numunesi 365 gün boyunca kür edildikten sonra 1 saat boyunca 400°C ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Normal betonlara kıyasla kendiliğinden yerleşen betonların yüksek sıcaklık etkisinde; boşluk yapısı, porozite ve mukavemet kayıpları daha fazla olmuştur.

Bikhiet, Shafey ve El-Hashimy (2014) yaptıkları deneysel çalışmada ürettikleri 15 farklı deney numunesini 600°C sıcaklığa maruz bıraktıktan sonra deneyin teorik analizini yapmak için 3 boyutlu bir sonlu elemanlar programı aracılığı ile yapmışlardır. İlk çatlağın yüksek sıcaklığa maruz kalmayan numuneye göre %30 daha erken oluştuğunu ve taşıma kapasitesinde düşüş meydana geldiğini gözlemişlerdir.

Sha ve Sharma (2017) yaptıkları çalışmada çimento esaslı kompozitin yangına karşı gösterdiği direnci incelemişlerdir. Deneylerde, sekiz farklı güçlendirilmiş kolon üzerinde çalışma yürütülmüştür. Çalışma, beton mukavemetinin, uygun donatının tespiti ve kullanımı, betonarme kolonların yangına karşı direnci üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Yüksek mukavemetli betonun dökülmeye meyilli olmasının beton için bir dezavantaj olduğunu belirten araştırmacılar, bu zorluğun üstesinden gelmek için güçlendirilmiş donatı biçimlerinin kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Hajiloo ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada cam elyaf ilaveli iki farklı döşemenin yangın gibi yüksek sıcaklıklar etkisindeki direnci ve tepkisinin tayini için kapsamlı bir yangın deneyi yürütmüşlerdir. Deney süresi boyunca numunelere yükleme yapılmış ve lif ilavesiyle yangına karşı daha etkili ve daha az maliyetli bir öneri olabileceğini belirtmişlerdir.

Xiao, Xie ve Xie (2018) yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklık etkisinin betonarme malzemelere ve donatılara olan etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Belirli bir sıcaklık seviyesinden sonra çelik gibi donatılarda akmayı kolaylaştırdığı, beton ve çelik arasındaki kenetlenmenin olumsuz etkilendiğini ve bunların doğal bir sonucu olarak da betonarme elamanlarda çekme dayanımını azalttığını belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklık etkisinde nervürlü donatının bağ kuvvetlerindeki azalma nervürsüze göre bir hayli fazladır.

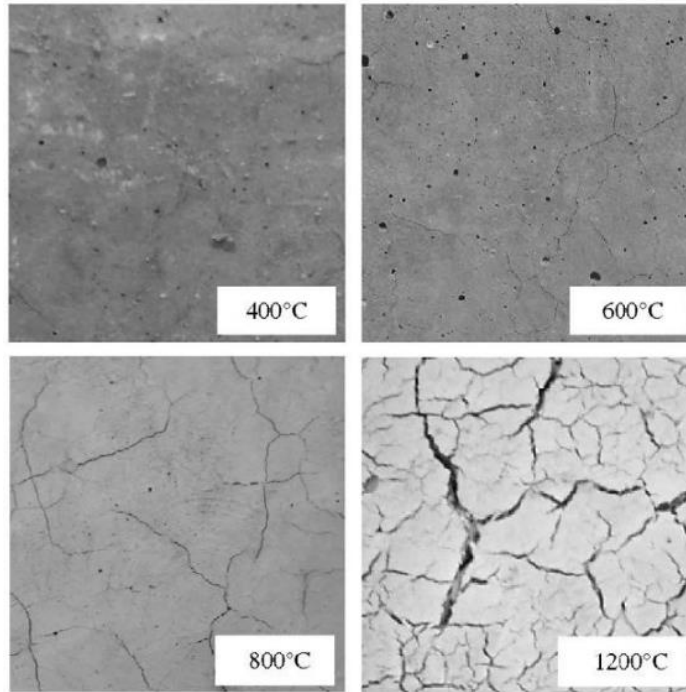
Jin ve diğerleri (2018) yaptıkları deneysel çalışmada çelik lifli betonarme kirişlerin darbe yüklerine maruz kaldıktan sonra yangın direncinin değerlendirilebilmesi için inceleme yapmışlardır. Kirişlerin aldığı hasarı, sehim değerlerini, donatıların akma değerlerini yüksek sıcaklık etkileri kapsamında 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre çelik liflerin betonarme elemanların yangın gibi yüksek sıcaklıklar maruz kaldığı durumlarda herhangi bir etkisi bulunmadığını belirtmişlerdir.

Demir, Gümüş ve Sevim (2019) yaptıkları çalışmada ürettikleri polipropilen lifli beton numunelerini normal oda şartları altında kirece doymuş suda 28 gün boyunca kür bekletmişlerdir. Yaklaşık 2 gün 100°C sıcaklığa maruz bırakılmış ve deney yaşı gelen numuneler 300°C, 600°C, 900°C ve 1300°C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneler oda koşullarında soğumaya bırakılmıştır. Ağırlık kayıpları, basınç mukavemetleri ve ultra ses geçiş hızı değerleri bulunmuştur. Bulunan sonuçlara göre

900°C ve üzeri sıcaklıklarda numuneler yüksek oranda deforme olduklarından ultra ses geçiş hızı değerleri, basınç mukavemeti değerleri ve ağırlık kaybı değerleri tespit edilememiş. Yüksek sıcaklık matristeki boşluk oranını artırdığı için ultra ses geçiş hızı süresinin uzadığı ve basınç mukavemeti değerinin azaldığı sonuç olarak her iki parametreye de olumsuz etki ettiği belirlenmiştir.

Yang ve diğerleri (2019) yapmış oldukları çalışmada 12 adet T kiriş numunesinin yüksek sıcaklık etkisindeki değişimlerini; sıcaklığa maruz kaldığı süreyi, maruz kaldığı sıcaklık değerini ve iyileştirme yöntemlerini de dikkate alarak test etmişlerdir. Numunelerin bir kısmı yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra çelik levhalar aracılığıyla güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş beton numunelerinin kesme kapasitesinde ve sünekliliğinde diğer numunelere kıyasla artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Buch ve Sharma (2019) yaptıkları çalışmada daha evvel yürüttükleri deneylerden ve yaptıkları analizlerden elde ettikleri verileri de kullanarak çimento esaslı kompozitlerin yangına karşı mukavemetlerini belirlemek amacıyla bir model oluşturmuşlardır. Model oluşturulurken patlama ve parçalanarak dökülme gibi istenmeyen durumlar da dikkate alınmıştır. Şekil 2.18’de beton yüzeylerinin yüksek sıcaklık etkisindeki görünümleri verilmiştir.



Şekil 2.18. Yüksek sıcaklıklarda beton yüzey (Taştan, 2022)

Han ve diğerleri (2020) yaptıkları çalışmada betonarme kolonların yüksek sıcaklık etkisinden sonraki durumuna ilişkin testler yapmış ve 600x600 mm kesit alanına sahip kolon

numunelerini 45 dakika boyunca yüksek sıcaklığa maruz bırakmışlardır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler daha sonra laboratuvar koşullarında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz kalma süresini, sıcaklığı, beton parametreleri gibi etkenleri etkili olduğu beton numunelerinin yangına maruz kaldıktan sonra taşıma kapasitesinin yaklaşık %80'ini muhafaza edildiği görülmüştür.

Adar, Bingöl ve Adar (2020) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen lifli betonlar üzerinde sıcaklığın etkilerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında üretilen numuneler 25°C, 250°C, 500°C ve 750°C sıcaklıklara maruz bırakılarak farkı deneylerle ultra ses geçiş hızı, akma hızı ve basınç mukavemeti gibi özellikleri incelenmiştir. Polipropilen lif oranı arttıkça taze betonun akma kapasitesi yayılma çapı azalmış, işlenebilirliğinde kötüleşme meydana gelmiştir. Çekme mukavemetini artırıcı etkide bulunduğu ancak basınç mukavemetine herhangi bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür. 500°C üzeri sıcaklıklarda polipropilen liflerin erimesi ile birlikte beton boşluk hacminde artış olduğu; ultra ses geçiş hızının, basınç ve eğilme mukavemetlerinin azaldığı belirtilmiştir. Belli sıcaklığın üzerindeki polipropilen liflerin eriyerek betonu terk ettiği ve bir kısım buharın tahliyesini sağladığı bunun bir sonucu olarak da buhar basıncını azaltıp patlayarak parçalanmanın önüne geçmektedir.

Dündar ve Çınar (2020) yaptıkları çalışmada mineral katkılı hafif betonların yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra mekanik ve fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelenmiştir. 7 gün standart kür havuzunda bekletilen numunelerin basınç ve eğilme tayini yapılırken 28 gün kür havuzunda kür işlemene tabii tutulan numunelerin ise basınç ve eğilme deneylerine ek olarak ultra ses geçiş hızı değeri ve su emme değeri belirlenmiştir. Çalışma için 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik numuneler üretilmiş ve 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara 1 saat boyunca maruz bırakmışlardır. Numuneler laboratuvar şartlarında oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılmıştır. Sıcaklık artışına bağlı olarak numunelerin ağırlıklarının, basınç ve eğilme mukavemetlerinin düştüğü görülmüştür.

Atalay (2020) yaptığı çalışmada kendiliğinden yerleşen lifli ve lifsiz beton numuneleri üzerinde yüksek sıcaklığın etkilerini incelemiştir. Beton numunelerine polivinilalkol lifleri, polipropilen lifler, makro çelik lifler ve mikro çelik lifler eklenmiş. Üretimi yapıldıktan sonra 90 gün boyunca standart kür havuzunda bekletilen numuneler deney yaşı geldiklerinde 250°C, 500°C ve 750°C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış. Deney sonuçlarından elde edilen veriler değerlendirildiğinde lifsiz numuneye oranla lifli numunelerin tamamının yüksek sıcaklık etkisindeki mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Sentetik lif içeren karışımların diğer numunelerden daha yüksek sıcaklıklara dayandığı görülmüştür.

Xu ve diğeri (2020) yürüttükleri çalışmada prekast beton kolonların yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını, bu davranışlarına etki eden parametreleri incelemiştir. Çalışma sonucunda yüksek sıcaklık hasarından sonra betonda meydana gelen dökülmelerin dahi betonun yangın hasarını artırıp mukavemette meydana gelen azalmayı artırdığını belirlemiştir. Meydana gelen dökülmelerin daha fazla dökülmeye neden olup beton kalınlığının azalacağı bunun da donatı hasarını etkileyeceği belirlenmiştir.

Jafarzadeh ve Nematzadeh (2020) çalışmalarında çelik lifli ve lif kullanılmadan üretilen yüksek mukavemetli kiriş numuneleri üretmişlerdir. Bu numunelere 20°C, 250°C, 400°C ve 600°C sıcaklıklara maruz bırakılmak üzere bir deney gerçekleştirilmiş ve dört noktalı eğilme deneyi yapılarak çatlak derinliği, genişliği ve bunları etkileyen parametreler araştırılmıştır. Çalışmada beton numunelerinin sıcaklıktan bir hayli etkilendiklerini çelik lif katkısının veya çelik donatı kullanılmasının ya da kullanılan donatı oranının artırılmasının yangın gibi yüksek sıcaklıklardan alınan hasarı, mukavemet kaybını, çatlak genişliğini ve derinliğini azalttığını tespit etmişlerdir. 250°C'de yük taşıma kapasitesini etkilerken kritik bir hasara neden olmadığı, 400°C sıcaklıkta yük taşıma kapasitesini artırdığını ancak 600°C sıcaklıkta yük taşıma kapasitesini yüksek oranda azaltacağını betondaki deformasyonun, çatlak oranının, çatlak derinliği ve genişliğinin artacağını belirtmişlerdir.

Kodur ve Banerji (2021) yürüttükleri teorik ve deneysel çalışmada yüksek sıcaklık altında betonarme kirişlerin, boşluk basıncı, beton numunenin ısı iletim yeteneğine bağlı etkilenmesini; mekanik yüklemeler etkisindeki deformasyon ve göçmeleri sayısal bir yöntem vasıtası ile incelemiştir. Betondaki deformasyonun temel kaynağını boşluk basıncı olduğunu ısı veya yüksek sıcaklık hasarının ve mekanik yüklemelerin ise betondaki dökülme ve parçalanmalar üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Bunlara ek olarak dökülme oranındaki artışın yüksek mukavemetli betonarme elemanların yangın direncini etkilediği belirlenmiştir.

Zhang ve diğeri (2021) yaptıkları çalışmada deformasyona uğramış ve uğramamış olan betonarme kiriş numuneleri arasındaki yangın hasarını karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Önceden meydana gelen deformasyonun boyutuna göre yüksek sıcaklık etkisinde alınan hasarın değiştiğini, önceden alınan hasarın az olması halinde alınması muhtemel olan yangın hasarı üzerinde etkili olmadığı ancak numunenin önceden yüksek oranda hasar alması halinde yangın etkisi altındaki numunenin rijitliğini ve dayanımını azaltacağı belirtilmiştir.

Rehman ve diğeri (2021) çalışmalarında normal ve yüksek dayanımlı olarak üretimi yapıp 28 gün kür edilen numuneler üzerinde yangın gibi yüksek sıcaklık etkilerini deneysel

ve teorik analizler ile incelemişlerdir. 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklarda bırakılıp deneye tabi tutulan kiriş numunelerin mukavemetlerinin sıcaklıkta meydana gelen artış ile birlikte azaldığı tespit edilmiştir. Normal dayanımlı kiriş numunelerinin 600°C sıcaklıklara kadar yüksek dayanımlı kiriş numunelerin ise 800°C kadar etkinliklerini korudukları görülmüştür.

Taştan (2022) yaptıkları çalışma kapsamında beton numunelerinde yüksek sıcaklık altında meydana gelen değişimleri yangına maruz kalmayan numuneler ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Numuneler 90 dakika boyunca yaklaşık 800°C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve laboratuvar şartlarında oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmaya bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık neticesinde numunelerin rijitliği, elastisite modülleri, maksimum taşıma kapasitesi ve su içeriğinde azalmalar meydana gelmiştir. Fiziksel olarak ise betonda kararma soyulma ve dökülmeler dikkat çekmiştir.

Cheng ve diğerleri (2022) yürüttükleri çalışmada betonda meydana gelen çatlakların oluşumunda ısı etkinin hayati bir rol oynadığı vurgulanmış ve buhar basıncının çatlak oluşumunu hızlandırıp dökülmelere neden olduğu belirtilmiştir. Çatlak oluşumunun temelindeki faktörün ise buhar basıncı ve termal genleşme arasındaki etkileşim olduğu ifade edilmiştir.

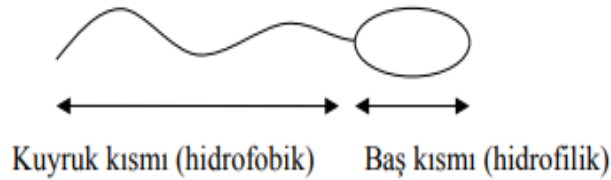
Öztürk ve diğerleri (2022) yürüttükleri çalışma kapsamında cam elyaf takviyesi ile sarılmış yüksek sıcaklığa maruz kalan lifli beton numunelerinin mekanik davranışlarına etkisini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 300°C, 500°C ve 700°C sıcaklıklara 2 saat süre ile maruz bırakılan beton numuneleri tek kat ya da iki katlı olmak üzere cam elyaf lifli sargı ile sarılmışlardır. Üretilen numuneler 28 gün kür edildikten sonra yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış 7 gün yaklaşık 20°C olan laboratuvar ortamında soğumaya bırakıldıktan sonra yanıl ve eksenel basınç mukavemetleri incelenmiştir. Basınç mukavemet değerinin ve deformasyonun sıcaklık arttıkça azaldığı ancak sargısız numunelerere kıyasla bütün sıcaklık değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Liu ve diğerleri (2023) yaptıkları çalışmada yangın koşullarının mekanik ve ısıl etkilerinin incelemişler ve farklı yüksek sıcaklıklar etkisinde bekletilen numuneleri laboratuvar koşullarında soğumaya bırakmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre yüksek sıcaklıklara maruz kalma süresi arttıkça deformasyon artmakta, mukavemet ve yük taşıma kapasitesi azalmaktadır.

2.6. Hava Sürükleyici Katkı Etkisi

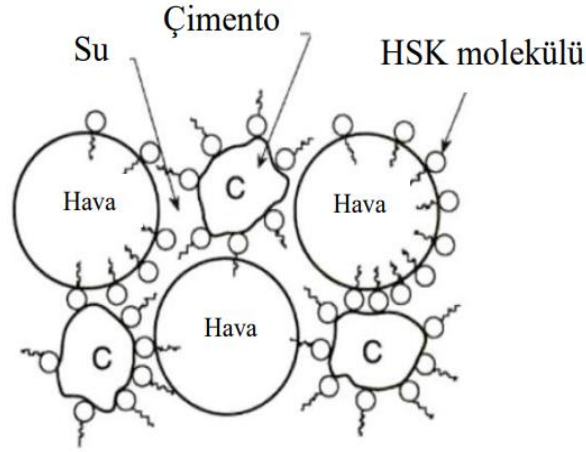
Hava sürükleyici kimyasal katkı maddeleri, taze beton karışımının içinde, 0,05 ile 1,25 milimetre arasında değişen boyutlara sahip düzenli ve uzun ömürlü hava kabarcıklarının oluşmasını sağlayan özel katkı maddeleridir. Bu katkılar, betonun daha dayanıklı ve hafif olmasını sağlar ve donma-çözülme döngüleri, buz çözücü tuzlar gibi farklı çevresel etkilere karşı daha dirençli hale getirir. Beton harcındaki boşluk miktarını daha düzenli halde ve daha homojen bir şekilde yaydığından dolayı işlenebilirlikte iyileşme meydana gelir.

Şekil 2.19’da verilen hava sürükleyici kimyasal katkı maddelerinin mikro yapısı incelendiğinde; hidrofobik (sudan nefret eden) ve hidrofilik (suyu seven) iki farklı kısımdan oluştuğu görülmüştür. Bahsedilen yapının baş kısmı hidrofilik kuyruk kısmı ise hidrofobiktir.



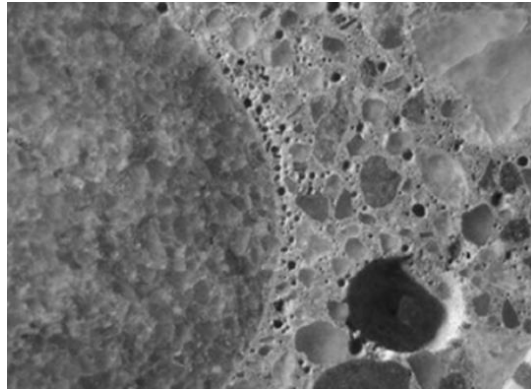
Şekil 2.19. Hava sürükleyici katkı moleküllerin tipik kimyasal yapısı (Geven, 2019)

Şekil 2.20’de hava sürükleyici katkıların çalışma mekanizmaları verilmiştir. Su ve katkı maddesi arasında oluşan elektrostatik itme kuvvetleri neticesinde beton içerisindeki boşluklarının birbirinden ayrı durmalarını sağlar. Beton içerisindeki katkıların bir kısmı harcın oluşumu ve serimi sırasında istenmeden ve gelişigüzel bir şekilde dağılmış olan boşluklardır ve bu boşluklara hapsolmuş hava boşlukları denir. Hava sürükleyici kimyasal katkı ile oluşturulan boşluk sistemlerinde ise daha sistemli, küçük boyutlarda, dairesel görüntüye sahip boşluklar oluşturulur.



Şekil 2.20. Hava sürükleyici katkıların çalışma mekanizması (Şahin, 2013)

Beton içerisinde iki farklı şekilde hava sürüklenme işlemi yapılabilir; birinci yöntemde beton harcı içerisine hava sürükleyici kimyasal katkı katılarak elde edilir diğer yöntemde ise hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılmış çimento kullanılması ile elde edilir. Her iki yöntem sonucunda da üretilmiş olan hava sürüklenmiş beton donma-çözünme döngüleri gibi çevresel etkilerden muhafaza edilmesi için yapılmaktadır. Örneğin donma-çözünme çevrimleri için kullanılması gereken en ideal oran %5-%7 gibi aralıklardır. Bu aralıkların üzerinde katkı kullanıldığı takdirde daha fazla boşluk elde edilebilir ancak beton dayanımında düşüş meydana geldiğinden daha fazla kullanılması tercih edilmez. Agrega yüzeylerinde toplanıp birleşen hava baloncukları zayıf bölge oluşumuna neden olur ve dayanımı düşürür. Beton içerisinde kullanılan her %1'lik haça sürükleyici katkı dayanımda yaklaşık %5-%10 arasında bir düşüşe neden olur bu nedenle karışım hesabı yapılırken en ideal oran tespit edilip optimum oranda kullanılmalıdır (Geven, 2019). Şekil 2.21'de agreganın etrafında birleşen hava boşlukları gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Agrega Etrafında Hava Boşluklarının Birleşmesi (Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri)

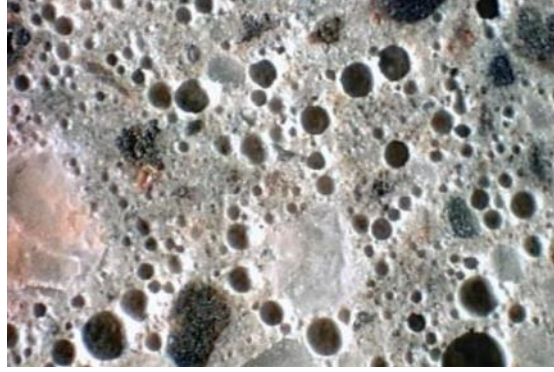
Ataş (2013) yaptığı deneysel çalışmada beton boşluk hacminde yüksek oranda artırmaydana geldiğinden dolayı ağırlıkta ve UPV değerinde azalma görülmüştür. Ağırlığın azalmasına ve katkı oranının artmasına paralel olarak, basınç mukavemetinde %55, eğilme mukavemetinde ise %26 kadar bir düşüş gerçekleşmiştir.

Özcan ve Akçaözoğlu (2018) yaptıkları çalışmada hava sürüklenmiş katkı kullanarak elde ettikleri betonun taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiştir. 5 farklı karışım olmak üzere farklı oranlarda hava sürükleyici katkı kullanarak elde ettikleri beton numuneleri üstünde birim hacim ağırlığı tayini, ultra ses geçiş hızı deneyi, ısı iletkenlik deneyi, yayılma tablası deneyi gibi deneyler uygulanarak taze ve sertleşmiş hal özelliklerinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Numuneler 150x150x150 mm boyutlarında üretildikten sonra 28 gün kür havuzunda bekletilmiş deney yaşları gelen numuneler yaklaşık 100°C sıcaklıkta 1 gün boyunca etüvde kurutulmuştur. Beton numuneleri 150x150x40 mm boyutlarında kesilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile birlikte taze haldeki betonun yayılma çapında artıma ve işlenebilirliğinde iyileşme meydana gelmiştir. Betonun kıvam kaybında azalma olmuştur. Betonun birim hacim ağırlığı azalmış ve hafif beton sınıfında beton üretilmiştir. Beton matrisi içindeki düzenli hava boşluğu oranındaki artış ile birlikte ultra ses geçiş hızında azalma olmuştur. Isı iletkenlik katsayısı düşmüş ve yalıtım amaçlı üretilen betonlarda kullanılabileceği öngörülmüştür.

Geven (2019) çalışmalarında hava sürükleyici katkı ve mineral katkı kullanılarak üretilen numunelerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. 8 farklı harç karışımı hazırlanan çalışmada marsh hunisi deneyi uygulanmış; 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değeri, 90 günlük donma-çözünme dirençleri ve 90 günlük su emme kapasiteleri belirlenip kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Hava sürükleyici katkının taze betonun işlenebilirlik ve kıvam kaybı üzerinde etkili olduğu; küresel ve düzenli bir boşluk sistemi oluşturduğu ancak erken yaş mukavemeti yönünden kritik bir öneme sahip olmadığı vurgulanmıştır. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile elde edilen betonun erken yaşlarda referans numuneye oranla daha düşük basınç mukavemeti değeri elde edildiği ancak 90 gün ve üzeri yaşlarda referans numuneden daha yüksek basınç mukavemeti değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. 90 günün sonunda hava sürükleyici katkı kullanılmış olan deney numunesinin referans numuneye oranla daha düşük bir su emme değerine sahip oluşu ve donma-çözünme döngülerine karşı daha başarılı direnç gösterdiği görülmüştür.

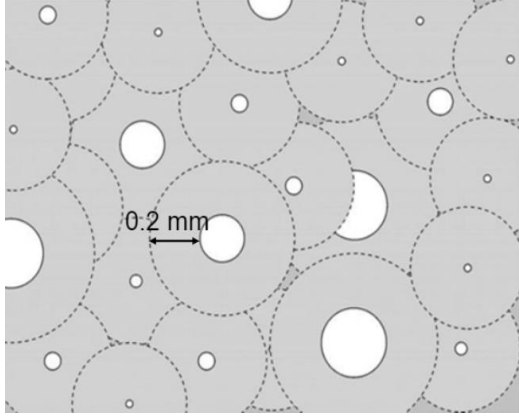
Güleryüz, Özen ve Mardanı (2020) çalışmalarında mineral katkı ve hava sürükleyici katkı kullanılarak elde edilen beton numunelerinin erken ve ileriki yaş özellikleri üzerine deneyler yapmışlardır. Kontrol betonu ile birlikte toplam 4 farklı karışım belirlenmiştir.

Numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemetleri tespit edilmiştir. Taze beton özelliklerinde hava sürükleyici katkı ve mineral katkı kullanımı ile birlikte iyileşme görülmüştür. Hava sürükleyici katkı kullanımının doğal bir sonucu olarak oluşan düzenli ve küresel boşluklar, taze haldeki beton numunesinin işlenebilirliğini artırıp kıvamını uzun süre korumasına yardımcı olduğu görülmüştür. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile birlikte oluşan düzenli ve küresel boşluklar Şekil 2.22’de verilmiştir.

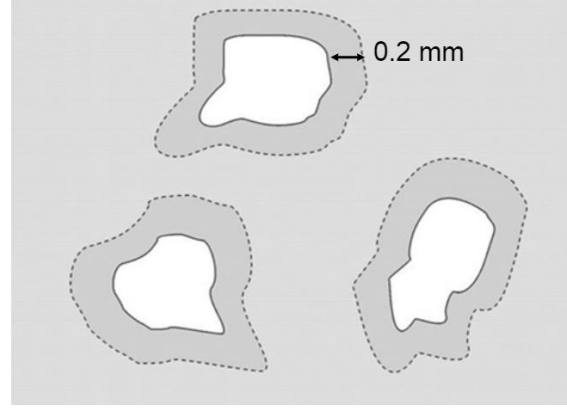


Şekil 2.22. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile oluşan oval ve düzenli hava boşlukları (Hava sürükleyici katkı maddeleri)

Şengün (2023) yapmış olduğu deneyde hazırlanan 55 harç hazırlanmış. Hazırlanan numunelerin erken ve ileriki yaş özellikleri değerlendirilmiştir. 50 mm boyutlara sahip ve deney zamanına kadar oda sıcaklığında suda kür edilerek hazırlanan beton numuneleri; 3. ve 28. günlerde basınç mukavemeti, akıcılık testi gibi deneylere tabii tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda hava sürükleyici katkı kullanımının betonun erken yaş dayanımında azalma meydana getirdiği ancak uzun vadede bu azalmanın minimize edildiği ve matris içerisindeki boşlukların daha düzenli ve sistematik bir şekilde dizilmesinden dolayı da işlenebilirliği iyileştirdiği görülmüştür. Hava sürükleyici katkı oranının artışına paralel olarak şekil verilebilirlik artmaktadır. Hava sürükleyici katkının betona kattığı bir diğer özellik ise betonun katılaşmasını kontrol betonlarına göre daha erken başlatmasıdır. Beton içerisindeki hava boşlukları Şekil 2.23’te verilmiştir.



Sürüklenmiş hava



Hapsolmuş hava

Şekil 2.23. Beton içinde sürüklenmiş ve hapsolmuş hava boşlukları (Hava sürükleyici katkı maddeleri)

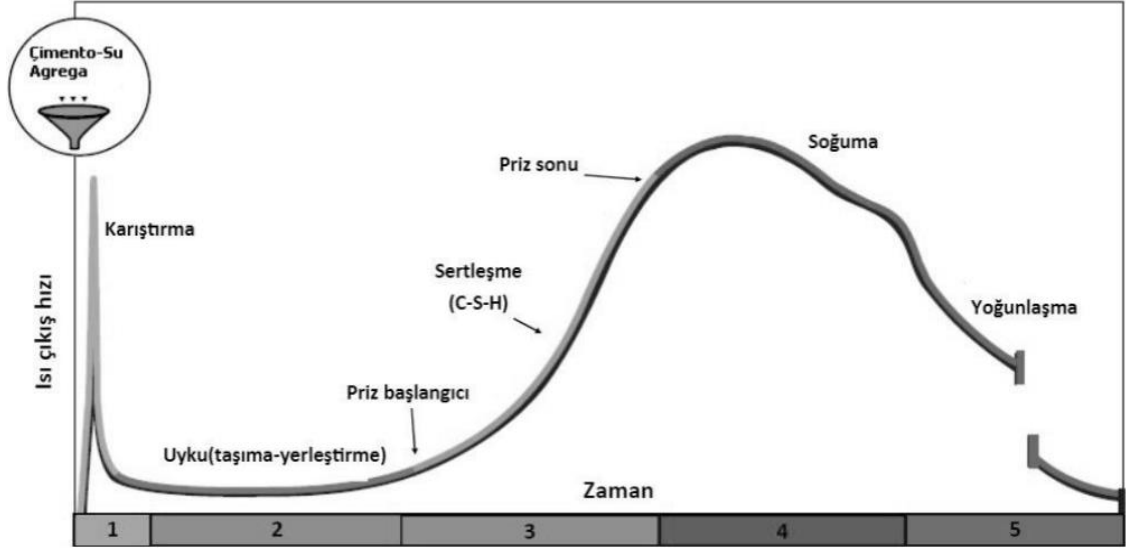
2.7.Kür Koşulları

Beton priz aldığı aşamada olumsuz hava ve çevre şartlarından daha az etkilenmesini sağlayan yöntemlere beton kürü denir. Hava içeriğindeki bağıl nem oranı kürlenmeyi etkilemektedir. Beton üretildikten sonra priz aşamasındayken yüksek sıcaklık, rüzgâr, toz gibi faktörlerden etkilenmemesi gerekir. Yüksek sıcaklık, rüzgâr gibi durumlarda beton içerisinde hidratasyon ile başlayan sertleşme için gerekli olan su buharlaşmaya başlar. Matris içerisindeki su buharı azaldığından hidratasyon süreci tamamlanamaz ve beton istenen dayanımını kazanamaz. Toz gibi faktörler beton harcı sertleşmeye başlamadan içeriye nüfuz edip aderansı ve dayanımı azaltır. Bu gibi nedenlerden dolayı beton dökümü yapıldıktan sonra betonun gerekli zaman aralıklarında kürlenmesi önemlidir (Yılmaz ve diğerleri, 2019).

Örneğin suda kür edilen betonlarda hidratasyon süresince katılaşma ve dayanım kazanma devam eder. Suyun eksik kaldığı veya tükendiği noktada suda kür edildiğinden betonun su ihtiyacı karşılanacak ve hidratasyon dolayısıyla betonun sertleşmesi ve dayanım kazanması devam edecektir. Hava ortamında kür edilen betonlar ise matris içerisindeki suyu tükettiğinde dışarıdan bir su takviyesi olmayacağından hidratasyon duracak ve dayanım kazanma, sertleşme gibi durumlar son bulacaktır (Aras, 2012) .

Betonun seriminden sonra var olan suyun korunması, su kaybının önlenmesi, gerekli ısıнын sağlanması gibi durumları kür olarak adlandırırız. Hidratasyon sürecinde var olan suyun korunması ve tepkimeler için gerekli ısıнын sağlanması betonun dayanım kazanması için şarttır. Hidratasyon süreci eğrisi Şekil 2.24’te verilmiştir. Hidratasyon için su her ne kadar önemliyse de beton dayanımı için su bir o kadar zararlıdır ve istenmemektedir. Bu durumdan dolayı su oranı optimum seviyede tutulmalıdır. Beton hidratasyonu birkaç saat içerisinde başlarken

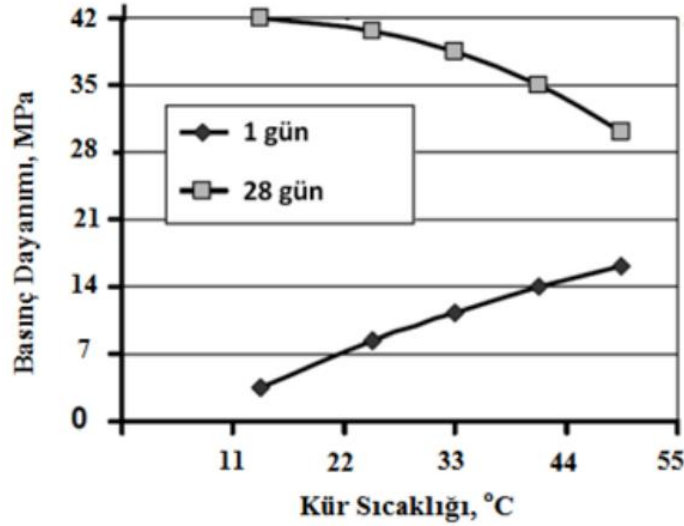
yıllarca devam eder. Betonun kürlenmesi; beton yüzeyinin su geçirmez örtüler ile örtülmesi, su tutucu örtülerin kullanılması, k r kimyasalları kullanımı, beyaz veya gümüş rengi boyalar kullanılması gibi çeşitli şekillerde yapılabilir.



Şekil 2.24. Hidratasyon reaksiyon süreçleri (Kostmatka, 2006)

Betonun kürlenmesi işlemi maliyetli olsa da istenen dayanımın sağlanması için gereklidir. Tercih edilen küre göre maliyeti değişiklik göstermektedir. Beton dökümü yapıldıktan sonra  ekil alma safhasında beton içerisindeki su kaybedilir ve plastik rötre oluşur. Dayanımın düşmemesi ve çatlakların oluşmaması için beton yüzeyi kurumadan ıslatılmalıdır ya da kurumasına izin verilmemelidir. Beton yüzeyine k r yapılırken hasar verilmemeli ve yüzey bozulmadan yapılmalıdır. Beton yüzeyinin beyaz veya gümüş rengi renklerle boyanması ve k r edilmesi güneş ışınlarını yansıtır ve kırar, ı ıyı absorbe etmez. Betonun sıcak havalarda yüksek sıcaklık ve ı ıdan korunması gerektiği gibi çok düşük sıcaklıklardan da korunması gerekmektedir. Beton dökümü için TS EN 206-1 standardının belirlediği en düşük sıcaklık +5 C'dir. Bu sıcaklık civarında hidratasyon oldukça yavaşlar. Bu sıcaklığın altında hidratasyon tepkimeleri için gerekli olan ısı sa lanamamakta ve hidratasyon gerçekleşmemektedir. 0 C'nin altında su da dondu undan hidratasyon için gerekli olan su bulunamamaktadır. Beton k r sıcaklığının betonun dayanımına etkisi  ekil 2.25'te verilmiştir. Bütün bunların doğal bir sonucu olarak erken ve ileriki ya  dayanımlarında d    ler meydana gelir. Bu nedenle k r edilip gerekli sıcaklığın sağlanması ve korunması  onemlidir. Yüksek sıcaklıklarda beton yüzeyini nemlendirmek, ı lak örtü kullanmak, su geçirmeyen örtüler kullanmak ve beton yüzeyini boyamak tercih edilen k r yöntemlerindendir. Düşük sıcaklıklarda ise daha çok buhar kürü,

radioaktif ışınlar kullanmak, elektrikle kür gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kür süresi; betonarme elemanın boyutları, kullanılan bağlayıcı malzemenin türü, cinsi ve sınıfı, harçta kullanılan katkıları ve çevresel etkiler (sıcaklık, nem içeriği) kür süresine direk etki ettiğinden bunların bilinmesi önemlidir (Akyüz, 2013).



Şekil 2.25. Kür sıcaklığının beton dayanım gelişimine etkisi (Özalp, 2016)

Palou ve diğerleri (2012) gerçekleştirdikleri çalışmada sıcaklık ve basınç parametreleri dikkate alınarak üretilen beton numunelerini otoklav kürüne maruz bırakmışlardır. Çalışma sonucuna göre otoklav küründeki numunenin basınç mukavemetinin normal kür edilen numuneye oranla azaldığı tespit edilmiştir.

Makul ve Agrawal (2012) yaptıkları çalışmada otoklav kürü ve standart kürün geleneksel beton numunelerine etkisini incelemişler ve standart kür uygulanan numunelerin otoklav küründen daha yüksek mukavemet değerleri verdiğini görmüşlerdir.

Chithra ve Dhinakaran (2014) yaptıkları çalışmada sıcak su kürü ve sıcak hava fırınında kür etmeyi kıyaslamalı olarak değerlendirmişlerdir. Beton numuneleri 4 saat süre ile 40°C, 50°C ve 60°C sıcaklıklara maruz bırakılmış sonrasında basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Deneyler neticesinde sıcak su kürünün beton mukavemeti açısından daha yüksek değerler vermeye yardımcı olduğu tespit edilmiştir.

Soykan ve Özel (2014) yaptıkları deneylerde kür süresinin polimer katkılı betonlar üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Numunelerin 28, 56, 90 ve 120. günlerde; özgül ağırlıkları, basınç ve eğilme mukavemetleri incelenmiştir. Betonun bütün mühendislik özelliklerinde kullanılan malzemelerin doğrudan etkili olduğu, malzemelerin kendi içinde uyumunun da

mukavemete etki ettiği ve en yüksek mukavemet artışıının 28 gün kür edilen numunelerde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Wang, Li ve Zhang (2014) yaptıkları deneysel çalışmada farklı sıcaklıklarda krleme işleminin beton numunelerinin hidratasyona etkisini incelemişlerdir. Numuneler; 1 gün boyunca 60 °C, 3 gün boyunca 60°C, 2 gün boyunca 20 °C ve 3 gün boyunca 20°C’ de kürlenmiştir. Çalışmaya göre erken yaşlarda dayanımın artması için krleme işleminin gerçekleştirildiği sıcaklığın kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır.

Alawad, ve diğerleri (2015) alışmalarında otoklav kürü ve normal kr ile üretimi yapılan mineral katkılı beton numunelerini kıyaslama yapılarak incelemişler ve otoklav kürünün deney numunesine olumsuz etki ettiğini belirtmişlerdir.

zalp, şengül ve Taşdemir (2015) yaptıkları çalışmada normal oda koşullarında yaklaşık 24°C su kürü, 65°C buhar kürü ve izole ortamda 150°C sıcaklık kürünün; normal, yüksek ve ultra yüksek mukavemetli beton numunelerine etkilerini incelemişleridir. Yüksek sıcaklıkta krleme işlemi normal ve yüksek mukavemetli betonlarda basınç mukavemetini olumsuz etkilerken ultra yüksek dayanımlı betonlarda basınç mukavemetini artırıcı etkide bulunur. Yapısal olarak değerlendirildiğinde ise yüksek sıcakta küre tabi tutmanın beton matrisinin içyapısına zarar verdiği ve su emme kapasitesi, çatlak oluşumu gibi zararlı etkileri artırdığı belirtilmiştir.

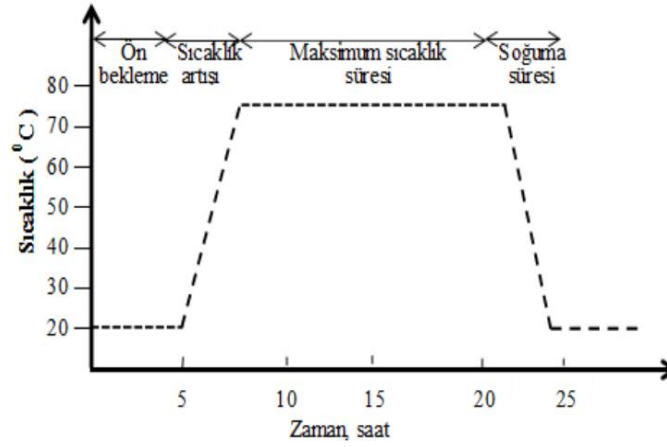
Turuallo ve Soutsos (2015) yapmış oldukları çalışmada 3 farklı harç ile elde edilen kendiliğinden yerleşen hafif betonların ve kendiliğinden yerleşen normal betonların küre tabii tutuldukları sıcaklıkların karşılaştırmalı olarak beton üzerine etkilerini incelemişlerdir. 100x100x100 mm boyutlarında 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklara 3 saat, 6 saat, 12 saat maruz bırakılan numuneler 1, 2, 4, 7, 14 ve 28. günlerde basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Kr sıcaklığının normal beton veya hafif beton olması fark etmeksizin sıcaklık arttıķa mukavemeti erken yaşlarda artırıcı etkide bulunurken ileri yaşlarda dayanımı azaltıcı etkide bulunmuştur.

İnan Sezer ve Yazıcı (2015) alışmalarında imento yerine ağırlıkça %0, %5, %10 ve %15 oranlarında polimer kullanılan 4 farklı beton numunesinin 3 farklı kür koşulu altında basınç ve eğilme mukavemetleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında 40x40x160 mm boyutlarında üretimi yapılan ve tamamen suda kr edilen, 50°C’de bir gün boyunca bekletildikten sonra kalan sürede suda kr ve 50°C’de bir gün boyunca bekletildikten sonra kalan sürede laboratuvar koşullarında kr edilen beton numunelerinin 7, 28 ve 90. günlerde analizleri yapılmıştır. Eğilme ve basınç mukavemetleri yönünden kr koşulları kendi ilerinde kıyaslandığında etüve maruz kaldıktan sonra laboratuvar ortamında kür edilen numuneler en

başarılı sonuçları verirken en kötü sonuçları su kürü verdiği ancak her koşulda polimer hacminin artmasından dolayı basınç ve eğilme dayanımlarında düşüşe sebebiyet verdiği görülmüştür.

İpek, Canbay ve Yılmaz (2015) yürüttükleri çalışmada sifcon betonlarda farklı oranlar, geometrik şekiller, boyutlar ve biçimlere sahip liflerin kullanılmasının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerinin incelemişlerdir. Çalışma kapsamında basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, ultrases geçiş hızı, kırılma tokluğu, beton test çekici deneyi uygulanmıştır. Basınç mukavemeti için 100x100x100 mm, eğilme mukavemetinin tayini için 40x80x400 mm boyutlarında numuneler üretilmiş ve 90°C buhar küründe 72 saat kür edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde polipropilen liflerin çelik liflere nazaran mekanik özelliklere daha az etki ettiği ve basınç mukavemetinin daha az olduğu ancak çelik liflerin korozyona uğrama ihtimalinin bulunduğu görülmüştür. Çelik liflerin polipropilen liflere nazaran ses iletim hızları daha yüksek olduğundan dolayı ultra ses geçiş hızı; çelik lif içeren numunelerde daha düşük olmuştur. Liflerin çekme dayanımları, eğilme mukavemetlerini doğrudan etkilemektedir. Çekme mukavemeti düşük olan polimer lifler genellikle kırılma esnasında kopmuş buna bağlı olarak numunenin eğilme mukavemeti ve enerjiyi absorbe etme yeteneği azalmıştır. Çelik liflerde ise çekme mukavemeti yüksek olduğundan kopmaların önüne geçerek çekme mukavemeti ve enerji absorbe etme yeteneğini geliştirmiştir. Hibrit olarak üretilen betonlarda ise her iki lif beraber çalışmış ve polipropilen lifin yetersiz gelip koptuğu ya da sıyrıldığı durumda çelik lifler devreye girmiş ve çatlak gelişimini azaltmıştır.

Yazıcı ve İnan Sezer (2016) yapmış oldukları çalışmada uçucu kül içeren beton numunelerinin basınç ve eğilme mukavemetlerinde kür koşullarının etkilerini incelemişlerdir. Üretimi yapılan 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler oda sıcaklığı, 35°C ve 85°C sıcaklıklarda sırasıyla 17 saat ve 3.5 saat kür edilmiştir. Deney sonuçlarına göre 35°C’de de 85°C sıcaklıkta da uçucu külün neden olduğu dayanım kaybının önüne geçilmiştir. Sonuç olarak belli bir sıcaklık sınırına kadar sıcak kür uygulamalarının dayanımı artırıcı bir etkisi olduğu düşünülmüştür. Genel olarak basınç ve eğilme dayanımları bakımından en başarılı sonuçları şahit beton numunesi vermiştir. Sıcak su kürü uygulamalarının ise 1 günlük basınç mukavemetleri standart küre nazaran daha yüksek çıksa bile 28. günde daha düşük sonuçlar vermiştir. Şekil 2.26’da tipik buhar kürü görseli verilmiştir.



Şekil 2.26. Tipik buhar kürü devresi (Özalp, 2016)

Özalp (2016) uyguladığı çalışmalar neticesinde betona uygulanan buhar kürü uygulamasının betonun durabilitesini azalttığını ve uzun vadede mukavemette düşümlere neden olduğunu tespit etmiştir. Su gibi yüksek neme sahip kür şartlarında ise betonun mukavemetinin, buhar kürüne kıyasla daha iyi performans sergilediğini belirtmiştir.

Palou ve diğerleri (2016) yaptığı çalışmada metakaolin ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren beton numunesinin kullanmıştır. Kür sıcaklığının numunenin hidratasyonuna etkisini 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C sıcaklıklarda kürleme işlemini gerçekleştirerek değerlendirmiştir. Deneyin ilk aşamalarında sıcaklığa bağlı olarak hidratasyon hızı artarken sonraki aşamalarda sıcaklığın artması ile birlikte hidratasyon hızı düşmüştür.

Shen ve diğerleri (2016) yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı beton numunelerinde kür işleminin gerçekleştirildiği sıcaklığın büzülme ve çatlamaya karşı gösterdiği mukavemete etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında yalıtılmış ve ısı geçirimsiz ortamda 20 °C, 45°C ve adyabatik durum olmak üzere 3 sıcaklıkta deneyler gerçekleştirilmiştir. Adyabatik numune 48 saat kürlenirken, 20 °C sıcaklığa maruz kalan numune 98 saat ve 45 °C sıcaklığa maruz kalan numune ise 264 saat kürlenmiştir. Sonuçlara göre yüksek dayanımlı beton numunelerinin maruz kaldığı sıcaklık arttıkça büzülme oranı da artmıştır. Çatlamaya karşı gösterdiği mukavemette ise en başarılı sonuçları 20 °C de kürlenilen numune vermiştir.

Mohamoud Nour (2016) çalışmasında ürettikleri prizmatik numunelerin laboratuvar koşullarında ve piyasa koşullarında olmak üzere farklı ortamlarda aynı kür koşullarında muhafaza ederek deneye tabi tutmuştur. Sulanmadan muhafaza edilen, günde 2 defa sulanarak muhafaza edilen ve günde 3 defa ıslak bezle nemlendirildikten sonra hava geçirimsiz poşetlerde saklanmıştır. Farklı kür koşullarında muhafaza edilen numuneler 3 farklı şekilde kür edilmiştir. Basınç mukavemet değerlerine göre suyla ve bezle nemlendirilen numunelerin basınç

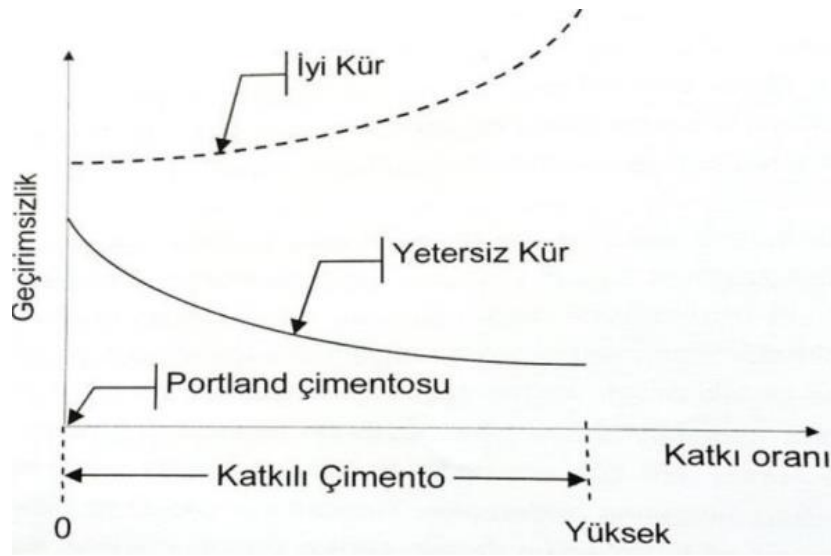
mukavemetleri normal betonlarda yüksek çıksa da yüksek mukavemetli betonlarda düşük çıkmıştır. Genel sonuç olarak laboratuvar şartlarında muhafaza edilen numuneler güneş ışığına maruz kalmadığından dolayı basınç mukavemetleri daha yüksek çıkmıştır.

Kıllı (2018) yaptığı çalışmada %8 ve %4 oranlarında çelik lif kullanılarak 12 farklı sifcon beton grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan Beton grupları standart kürleme, kuru kürleme ve hızlı kür ile kürleme yöntemlerine tabii tutularak kür koşullarının sifcon betona etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, ultrases geçiş hızı, kılcal su emme ve darbe dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre çelik liflerin boy/çap oranının artması eğilme mukavemetinde artışa neden olmaktadır. Lif boyunun uzun tercih edilmesi, lif oranının fazla olması gibi nedenlerden dolayı lif matris arasındaki bağlar zayıflar, darbelere karşı gösterdiği direnç artar ve eğilme mukavemetinde düşüş meydana gelir. En yüksek mukavemet değerleri standart kürlemede görülürken; kılcal su emme değeri en yüksek kuru kür yönteminde gözlenmiştir.

Kütük, Sert ve Kara (2018) uyguladıkları çalışmada ileriki yaşlarda dayanımı artan beton numunelerini üzerinde kür koşullarının basınç dayanımı ve UPV değerine etkisini incelemişlerdir çalışma kapsamında 100x100x100 mm boyutlarında 54 adet numune üretilmiştir. 7 gün suda 83 gün oda sıcaklığında laboratuvar koşullarında toplam 90 gün kür edilen, 28 gün suda 62 gün oda sıcaklığında laboratuvar koşullarında toplam 90 gün kür ve 90 gün boyunca suda bekletilmek suretiyle 3 farklı kür uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre 90 gün suda kür edilen numunelerde basınç mukavemeti ve UPV değeri en iyi sonucu vermiştir ve bu sonuçları sırasıyla 28 gün suda kür edilen, 7 gün suda kür edilen numuneler izlemiştir. Suda kalma süresi uzadıkça basınç mukavemetinin arttığı ve UPV değerinin azalıp ses geçiş hızının arttığı görülmüştür.

Günaydın, Güçlüer ve Arın (2018) yaptıkları çalışmada otoklav kürünün mineral katkılı betonlarda mühendislik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Otoklav silindirik şekli ve çelik duvarları olan özel bir buhar kürü makinesidir. Otoklav içerisinde 2, 4 ve 6 bar basınç değerlerinde 110°C, 145°C ve 165°C sıcaklıklarda 8 saat bekletilmiş ve daha sonra yine otoklav içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Otoklav kürünün normal kürle karşılaştırıldığı çalışmada otoklav kürünün normal küre göre mukavemette düşüşe neden olduğu ve ultrases geçiş hızının azaldığı görülmüştür.

Chen, Gao ve Ren (2018) yaptıkları deneysel çalışmada uçucu küllü yüksek dayanımlı betonları 6, 8, 10 ve 12 saat süre ile küre maruz bırakılmış ve deneyin ilk kısmında artma eğiliminde olan basınç mukavemetinin ilk değerlerinin aksine zamana paralel olarak azaldığını tespit etmişlerdir. Şekil 2.27’de kür koşulu ve katkı oranının geçirimsiliğe etkisi verilmiştir.



Şekil 2.27. Kür koşulu ve katkı oranının beton geçirimsizliğine etkisi (Yıldırım, 2020)

Geçten ve Gül (2019) yaptıkları çalışmada hafif betonların kür koşullarının; su emme kapasitesi, rötre, ısı iletkenlik değeri üzerine deneyler gerçekleştirmişlerdir. Üretimi yapılan beton numuneleri 5 ayrı kür koşuluna maruz bırakılmıştır. Numunelerin 28 gün boyunca maruz bırakıldığı kür koşulları şu şekildedir; laboratuvar koşullarında oda sıcaklığında bekletilme, sadece sabah olmak üzere günde bir defa sulanması, sabah ve akşam olmak üzere günde iki defa sulanması, sabah, öğlen ve akşam olmak üzere günde üç defa sulanması, oda sıcaklığında kür havuzunda bekletilmek üzere kür. Numunelerin suya maruz kalma süreleri uzadıkça doygunluğa ulaştıklarından dolayı su emme kapasitelerinde ve rötre çatlaklarında yüksek oranda azalma gözlenmiştir. Isıl iletkenlik üzerinde ise kür koşullarının fazla bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

Özcan, Yılmaz ve Nazlıkol (2019) yaptıkları deneylerde 20°C ve 40°C'de kür havuzu, 24°C, 30°C, 35°C, 40°C laboratuvar koşullarında kür edilen 100x100x100 mm'lik beton numunelerin üzerinde 1, 2, 7 ve 28. Günlerde analizler yapılmak üzere basınç mukavemetlerine etkisi incelenmiştir. Su kürüne maruz kalan numunelerin kür sıcaklığı artırıldığı durumlarda erken yaşlarda mukavemette artış meydana gelse de ileri yaşlarda basınç mukavemetleri olumsuz etkilenmektedir.

Aras (2019) tarafından yapılan çalışmada belli şartlar altında 23°C, 100°C, 300°C, 500°C ve 700°C sıcaklıklara 1 saat maruz bırakılmak üzere hazırlanan beton numuneleri 27 gün; oda sıcaklığı(23°C), 100°C hava ve 20°C sıcaklığa sahip kirece doygun su kürlerinde bekletilmiştir. Kür işlemleri gerçekleştirilen numunelerin su emme oranlarına bakılmış daha sonra yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Yüksek ısı sonrası soğutulan numunelerin su emme

değerleri ve basınç dayanımları belirlenip kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Bütün sıcaklık değerleri için hava kürüne tabii tutulan numunelere kıyasla çoğunlukla su kürüne tabii tutulan numunelerden daha yüksek basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Su kürüne tabii tutulan numuneler 100°C’de mukavemet artışı gösterirken 300°C’de azalma olarak görülmüştür. Suda kür edilen numunelerdeki dayanım artışının nedeni olarak hidratasyona uğramamış kısımların da suyun varlığı ile hidrate olması ile açıklanabilir.

Sevim (2019) yaptıkları çalışmada beton numuneleri yüksek sıcaklık etkisinde kaldıktan sonra farklı soğutma yöntemleriyle soğutulmasının betonun mühendislik özelliklerindeki etkisini incelemiştir. CEMI 42,5 ve CEMIII 32,5 çimento tipinin kullanmıştır. Beton numuneleri 150°C-600°C Aralığında 150°C aralıklarla sıcaklığa tabii tutulmuştur. Daha sonra 3 saat havada veya suda soğutulmaya bırakılmış ve numuneler son olarak 28, 56 gün yaşlara kadar kür edilmiştir. Basınç dayanımı, çekme dayanımı, UPV deneyi, hacimce su emme deneyleri yapılan numunelerden elde edilen verilere göre yüksek sıcaklık alanında CEM III tipi çimentonun daha başarılı olduğu her iki soğutma tipi için de havada soğutulan numunelerin suda soğutulan numunelere oranla daha başarılı sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir ve bu farkın betonun iç yapısındaki termal şoktan kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Soğutma biçiminin her iki şekilde de betonun özelliklerine direkt olarak etki ettiği görülmüştür. Numunelerin su emme yüzdeleri incelenmiş; yaklaşık 300°C sıcaklığın üzerinde anlık artışlar göstererek arttığı ve su içerisinde soğutulan numunelerde bu oranın daha belirgin olduğu görülmüştür. 600°C sıcaklık üzerindeyse mühendislik özelliklerinin büyük çoğunluğunun kaybedildiği görülmüştür.

Altındal (2020) yaptığı çalışmada 150x150x150 mm boyutlarında üretimini gerçekleştirdiği geopolimer beton numunelerinin farklı kür koşulları altında 2, 28 ve 90. günlerde basınç mukavemetlerini incelemiştir. Çalışma kapsamında 70°C sıcaklığa maruz bırakılan numuneler sıcaklık sonrası suda ya da laboratuvar koşullarında deney yaşlarına kadar kürlenmiş ve incelemeler neticesinde laboratuvar koşullarında havada kür edilen numunelerin basınç mukavemetinin minimum olduğu belirtilmiştir.

Yıldırım (2020) yaptığı çalışmada 40x40x40 mm ve 25x25x25 mm olmak üzere iki farklı boyuttaki numunelerin 8 farklı sıcaklıkta ve farklı sürelerde su kürü etkisinde mekanik, fiziksel özelliklerine etkilerini basınç ve eğilme mukavemetlerini dikkate alınarak incelemişlerdir. Numuneler 3 saat, 6 saat, 24 saat, 3 gün ve 7 günler boyunca 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C ve 90°C sıcaklıklar altında kür işlemine tabi tutulmuş. 40°C sıcaklık üzerinde kür işleminin eğilme mukavemetinde düşüşe neden olduğu 50°C sıcaklığın üzerinde ise içyapıda deformasyonlar meydana geldiğinden dolayı su emme oranında yüksek oranda bir

artış görülmüştür. Genel olarak erken dayanım artışı için yaklaşık 3 günlük süre zarfında 40°C'ye kadar sıcak kür uygulaması gerçekleştirilebilir.

Yurt ve Emiroğlu (2020) gerçekleştirdikleri çalışma kapsamında yüksek fırın cürufu, zeolit ve geopolimer kullanılarak üretilen numunelerin farklı kür koşullarında özellikleri incelenmiştir. 25 °C hava kürü, 25 °C su kürü ve 60 °C su kürüne tabi tutulan numuneler 3, 7 ve 28. günlerde basınç ve aşınma gibi testlere maruz bırakılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre kür koşullarının basınç mukavemeti ve aşınma direncine karşı etkili bir parametre olduğu; en yüksek basınç dayanımı değerinin 60°C su küründe elde edildiği ve aşınma direncini artırdığı bildirilmiştir.

Kurbetci (2022) yaptığı çalışmada uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonların buhar kürü ve standart kür etkisinde basınç dayanımlarını incelemiştir. Çalışmaya buhar kürüne maruz bırakılan numunelerin 1. gün basınç dayanımları iyileşse de 28. günde azalma görülmüştür. Genel olarak buhar basıncının mukavemeti azaltıcı etkisi bulunduğu tespit edilmiştir.

Özalp (2023) uyguladığı çalışma kapsamında sifcon betonun 90°C buhar kürü ve 150°C etüv kürü olmak üzere farklı kür koşullarında mekanik davranışı ve kılcal su emme kapasitesi hakkında bir inceleme yapmıştır. Numunelerde %4-%8 çelik lif ve %4 poliolefin lif kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen verilere göre betonun mekanik özelliklerini geliştirme konusunda 90° buhar kürü, 150°C etüv kürüne kıyasla daha kötü sonuçlar vermiştir. Buhar kürüne maruz bırakılan numunelerinin kılcal su emme kapasitelerinin daha az olduğu ve etüv kürünün geçirimsizliği artırdığı tespit edilmiştir. Etüv kürüne maruz bırakılan numunelerin buhar kürü uygulanan karışımlara kıyasla %5-%12 oranında daha yüksek basınç mukavemeti değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada, Elazığ Seza Çimento tarafından TS EN 197-1 standartlarına uygun olarak üretilen CEM II/A - M (P-LL) 42,5 R Portland Kompoze Çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun üzerinde bulunan harfler ve rakamlar, içerdiği maddeleri, kullanım amacını ve dayanım sınıfını belirtir. "A" harfi, portland çimentosunun yüksek klinker oranına sahip olduğunu temsil eder. "M" harfi, kompoze çimentoyu tanımlar. "P" harfi, çimento içerisindeki doğal puzolanı temsil eder. "LL" simgesi, kalkerli temsil eder. 42,5 rakamı, çimentonun dayanım sınıfını, "R" simgesi ise erken dayanımının yüksek olduğunu gösterir. Çimentoya ait görsel Şekil 3.1'te gösterilmiştir. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de, kimyasal özellikleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan çimentoya ait görsel

Tablo 3.1. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri	CEM II/A-M (P-LL) 42,5 R
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,06
Özgül Yüzey (cm ² /g)	4233
Yoğunluk (kg/dm ³)	-
İncelik-90 mikron üzeri (%)	-

Tablo 3.2. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R
SiO ₂	19,50
Al ₂ O ₃	6,01
Fe ₂ O ₃	3,88
CaO	59,98
MgO	1,88
Cl	0,01

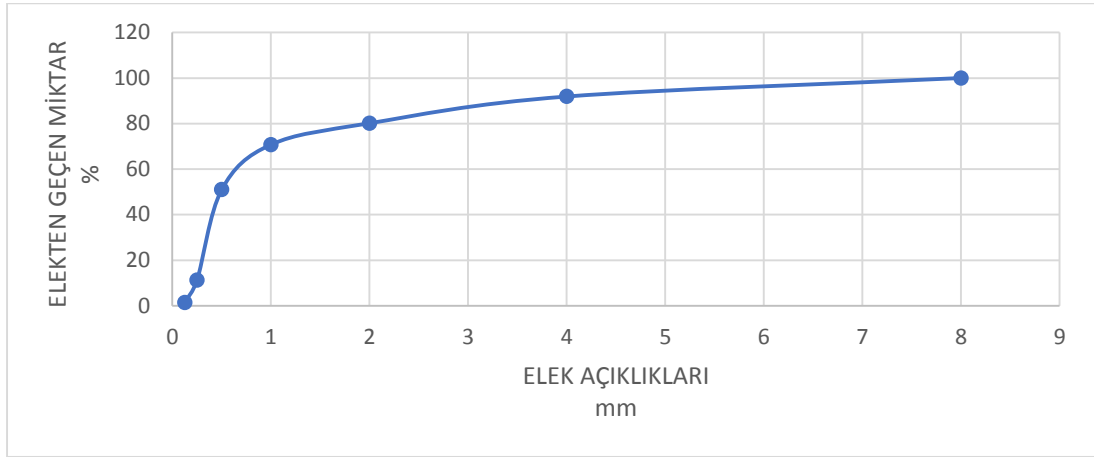
3.1.2. Agregas

Betonun yapı taşlarından biri olan agregas, diğer yapı malzemelerine göre daha kararlı bir yapıya sahip olması nedeniyle diğer parametreleri daha net incelemeye olanak tanır. İstenilen dayanımın sağlanabilmesi ve hacimsel kararsızlıkların önüne geçilebilmesi için uygun oranlarda agregas kullanılmıştır. Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında MV Hazır Beton firmasının hazır beton santralinden temin edilen yıkanmış doğal dere kumu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kumun görseli Şekil 3.2’de, yapılan elek analizi sonucunda elde edilen gradasyon eğrisi Tablo 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan agregas görseli

Tablo 3.3. Kullanılan agreganın elek analizi



3.1.3. Hava Sürükleyici Katkı

Yapılan tez çalışmasında, Master Builders Solutions firmasına ait MasterAir 200 katkısı kullanılmıştır. Kullanılan hava sürükleyici katkı maddesi Şekil 3.3'te, malzeme özellikleri de Tablo 3.4'te verilmiştir. Bu katkı, yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun havayı sürüklemeye ve tutma özelliğini geliştirir. Aynı zamanda, betonun işlenebilirlik özelliği de gelişir. Tez çalışması kapsamında, deney numunelerinin kıyaslanması için numunelerin yarısında hava sürükleyici katkı kullanılırken, diğer yarısında kullanılmamıştır.



Şekil 3.3. Hava sürükleyici katkı

Tablo 3.4. Hava sürükleyici katkının özellikleri

Malzeme	MasterAir 200
Malzemenin Yapısı	Yağ Alkolü ve Amonyum Tuzu Esaslı
Görünüm Açık	Kahverengi sıvı
Özgül ağırlık (20°C’de)	0.98 – 1.03 kg/lt
pH değeri	9 - 11
Alkali içeriği (%)	≤ 10.0 (ağırlıkça)
Klor iyon içeriği (%)	≤ 0.1 (ağırlıkça)
Korozyon davranışı	Sadece BS EN 934-1:2008, EK A.1 standardına uygun bileşenleri içerir.

3.1.4. Su

Yapılan tez çalışmasında Batman Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarına ait içme suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Akışkanlaştırıcı

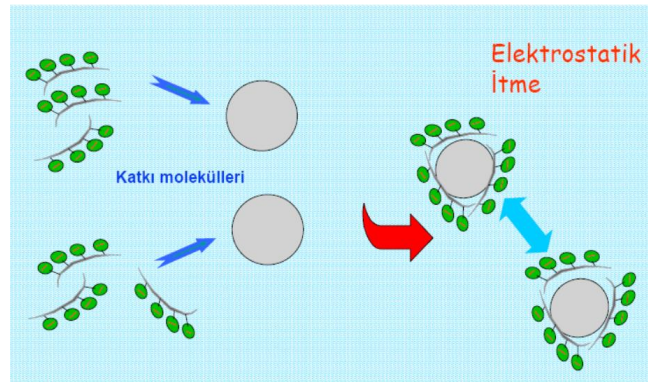
Tez çalışmasında, polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltan kimyasal katkı uygun oranlarda kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı, kolay işlenebilir, erken ve ileri yaşlarda yüksek dayanımlı, dayanıklı betonların üretilmesine yardımcı olmak amacıyla kullanılmıştır. Su azaltıcı kimyasal katkı kullanılarak düşük Su/Çimento oranı elde edilmiş ve yangın etkisinde buharlaşıp mikro boşluklarda oluşması muhtemel basıncın ve patlamaların önüne geçilmeye çalışılmıştır. Su azaltıcı kimyasal katkı kullanıldığından dolayı betonda daha az terleme beklenmektedir. Yapılan tez çalışmasında, Master Builders Solutions firmasına ait MasterGlenium51 süper akışkanlaştırıcısı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcının görseli Şekil 3.4’te, özellikleri ise Tablo 3.5’te verilmiştir. Akışkanlaştırıcı katkıların çalışma prensibi Şekil 3.5’te, stearik etkisi Şekil 3.6’da verilmiştir.



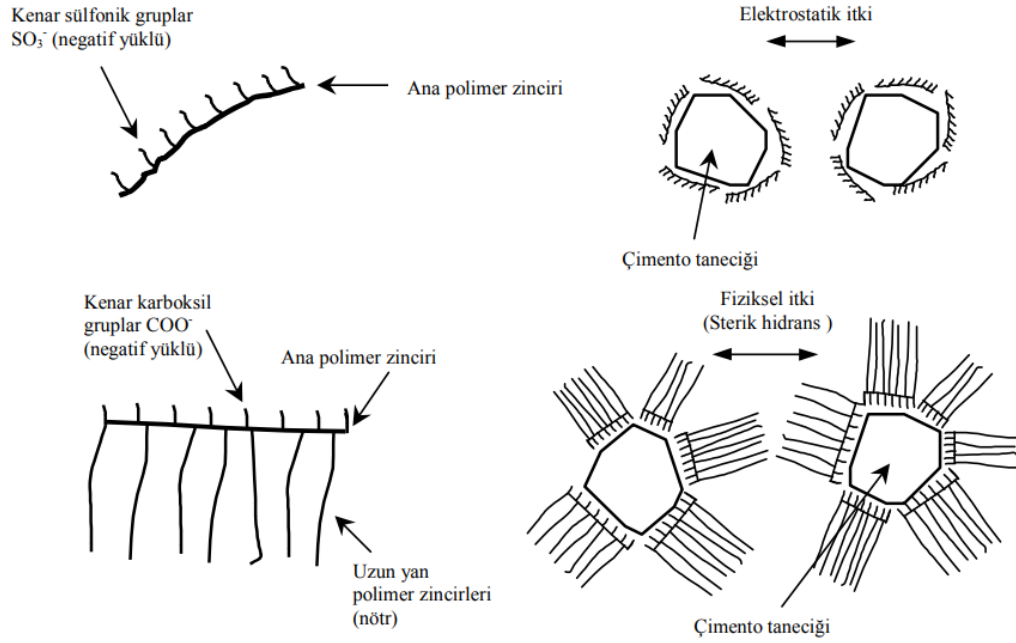
Şekil 3.4. Akışkanlaştırıcı görselleri

Tablo 3.5. Çalışmada kullanılan akışkanlaştırıcının özellikleri

Malzeme	MasterGlenium51
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Kahverengi - sıvı
Özgül ağırlık (20°C'de)	1,082 – 1,142 kg/lt
pH değeri	6 – 7
Alkali içeriği (%)	≤ 3,00 (ağırlıkça)
Klor iyon içeriği (%)	≤ 0.10 (ağırlıkça)
Korozyon davranışı	Sadece EN 934-1:2008, EkA.1'de verilen bileşenleri kapsar.



Şekil 3.5. Akışkanlaştırıcı katkıların çalışma prensibi (BETON KATKI MADDELERİ)



Şekil 3.6. Akışkanlaştırıcı katkıların stearik etkisi (TÜRKEL & FELEKOĞLU, 2004)

3.1.6. Polipropilen Lif

Tez çalışmasında, yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonda kullanılan polipropilen liflerin davranışının betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Diğer lif türleri ile karşılaştırılarak, kullanılan liflerin etkileri arasındaki farklar belirlenmiştir. Polipropilen liflerin yüksek sıcaklık etkisi altında eriyerek betonda oluşan kılcal çatlaklardan betonu terk etmesi ve beton yüzeyinde meydana gelmesi, patlamaları engellemesi öngörülmektedir. Beton matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağılmış olan bu lifler, oluşması muhtemel çatlakları sönmüleyerek çatlak gelişimini minimize eder ve dayanıma katkıda bulunur. Çalışmada kullanılan polpipropilen lif görseli Şekil 3.7’de verilmiştir. Görseli verilen polipropilen lifin uzunluğu 6 mm, çapı 0,03 mm’dir; diğer özellikleri ise Tablo 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.7. Polipropilen lif görseli

Tablo 3.6. Polipropilen liflerin özellikleri

Malzeme	%100 Saf Polipropilen
Tip	Monofilament mikro fiber
Saflık	Olefinsiz, poliadmitsiz, naylonsuz 1. sınıf saf Polipropilen
Enine Kesit	Yuvarlak
Standart	EN 14889 Part II Type 1A, ASTM C1116 Type III
Çekme Dayanımı	467 - 548 MPa
Elastisite Modülü	4048 - 5674 MPa
Uzama	%20 - 25
Özgül Ağırlık	0.91 gram / cm ³
Sağlamlık	6.5 - 7.0 gr / Deney - Yüksek Mukavemet
Renk	Transparan
Erime Noktası	160°C
Fiber Adedi	120 milyon+ / kg
Yüzey Alanı	140 m ² /kg
Asit/Alkali Dayanımı	Mükemmel
Oksidan Dayanımı	Mükemmel
Biyolojik Dayanım	Mükemmel
Çimento Uyumu	Mükemmel
Emilim	Emilimsiz - Hidrofobik

3.1.7. Pirinç Kaplı Çelik Lif

Tez çalışmasında kullanılan pirinç kaplı çelik liflerin, özellikle yangın gibi yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında gösterdikleri davranış özelliklerini iyileştirmesi

beklenmektedir. Bazı numunelerde pirinç kaplı çelik lif kullanılmış, diğer numuneler ise farklı lif türleriyle üretilmiş ve ardından bu lif türleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu liflerin mükemmel mekanik özelliklere sahip olması, betondaki çatlak gelişimini azaltmalarını beklenmektedir. Çalışmada kullanılan pirinç kaplı çelik lifin boyu 6 mm, çapı ise 0,16 mm'dir görseli Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Pirinç kaplı çelik lif

3.2.DENEYSEL METOT

3.2.1. Malzemeler ve hazırlanma teknikleri

Çimento esaslı lifli kompozitlerin üretiminde, TS EN 197-1 şartlarını karşılayan CEM II 42.5 N normal Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento, fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.7'de detaylı bir şekilde sunulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0.3 olarak belirlenmiş ve agrega/bağlayıcı oranı ise 1.5 olarak tercih edilmiştir. Üretim sürecinde, en büyük tane boyutu 2 mm olan dere kumu tercih edilmiştir. Ayrıca, numune üretimlerinde iki farklı tip lif kullanılmış ve bu liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.8'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 3.7. Çimento fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen, %	PC
SiO ₂	19.23
Al ₂ O ₃	4.51
Fe ₂ O ₃	3.76
MgO	1.82
CaO	62.90
SO ₃	2.91
Na ₂ O	0.41
K ₂ O	0.65
Kızdırma kaybı	3.45
Özgül ağırlık, gr/cm ³	3.12
Blaine, cm ² /gr	3850

Tablo 3.8. Polypropylene (PP) ve Pirinç Kaplı Çelik Lifin (SF) Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

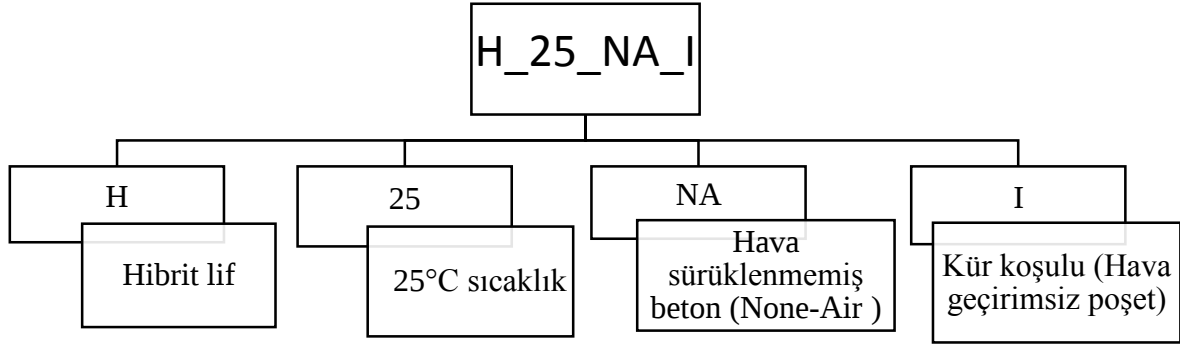
Lif Tipi	Nominal Dayanım	Elastik Modülü	Çap	Uzunluk	Özgül Ağırlık
	GPa	GPa	µm	mm	gr/cm ³
PP	0.5	5	30	6	0.9
SF	3	200	16	6	7.8

Belirli karışımlar için hava sürükleyici katkının değişken olarak değerlendirildiği durumlarda, Chryso firması tarafından üretilen Master Air 200 kodlu hava sürükleyici katkı, %0.6 oranında üretimlerde kullanılmıştır. Ayrıca, üretimlerde tercih edilen düşük su/çimento oranı nedeniyle ortaya çıkabilecek işlenebilirlik problemlerini gidermek amacıyla, BASF firmasından temin edilen yeni nesil yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı olan Glenium 51 ürünü kullanılmıştır.

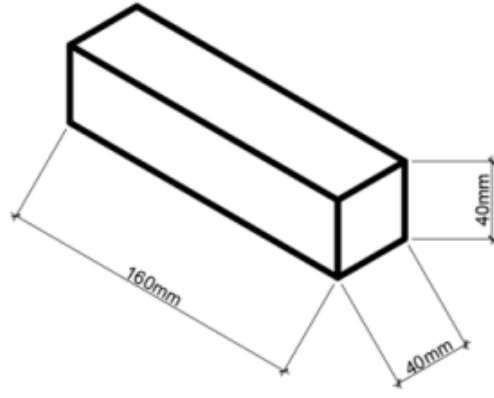
Her bir karışım için, bileşenlere bağlı olarak belirlenen harf ve rakam kombinasyonları içeren özgün bir kodlama kullanılmıştır. Bu kodlamalar, farklı rotasyonlar tercih edilerek oluşturulmuştur. Örneğin, H_25_NA_I kodlu 14 numaralı karışımda, 'H' harfi polipropilen ve pirinç kaplı çelik lifin hibrit kombinasyonu ile üretilen hibrit lif türünün kullanıldığı göstermekte olup diğer kodlamalarda kullanılan olan 'P' harfi polipropilen lif türünün kullanıldığını, 'SF' harfi ise pirinç kaplı çelik lif türünün kullanıldığını temsil etmektedir. Kodlamada kullanılan '25' sayısı ve '250' sayısı numunelere uygulanan sıcaklık seviyesini belirtir, yani 25°C'lik oda sıcaklığını ifade ederken, 250°C'lik yüksek sıcaklık uygulandığını 'NA' kodu hava sürükleyici katkının kullanıldığını 'A' kodu ise hava sürükleyici katkının kullanılmadığını ve hava sürüklenmesinin bulunmadığını belirtir. Kodlamanın sonunda verilen 'I', 'O' ve 'S' harfleri ise numunelerin test edildiği yaşa kadar bekletildiği kür rejimi hakkında

bilgi verir. ‘I’ harfi numunenin poşette kür edildiğini, ‘O’ harfi açık havada laboratuvar koşullarında küre maruz bırakıldığını ve ‘S’ harfi ise numunenin suda küre tabii tutulduğunu belirtmektedir. Çalışmada kullanılan kodlama Tablo 3.9’da açıklanmıştır.

Tablo 3.9. Örnek numune kodlaması



Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’de belirtilen karışım oranlarına göre toplamda 36 farklı karışım tasarlanmış ve bu tasarıma göre üretimler gerçekleştirilmiştir. Beton numuneleri 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik üretilmiştir. Numunelerin temsili gösterimi ve boyutları Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat kalıpta bekletilmiş ve kalıptan çıkarıldıktan sonra suda kür, poşette kür ve havada kür edilmiştir. Çalışma kapsamında hedeflenen analizler 7, 28 ve 90 günlük kür yaşlarında yapılmıştır. Kür yaşı gelen numuneler oda sıcaklığındaki koşullar haricinde (karışımdaki etki sıcaklığına bağlı olarak) üç saat boyunca 250 °C’ye maruz bırakılmış olup, ısıtma işlem sonrası numunelerin kendiliğinden soğuması sağlanmıştır. Hem oda sıcaklığı hem de 250 °C’ye maruz bırakılmış numunelerin ultrases dalgası hızları ölçülmüş ve akabinde basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Hem üretim hem de analiz süreçleri Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. 40x40x160 mm prizmatik numunelerin şekil özellikleri (Murthada ve diğerleri 2019)



Şekil 3.10. Üretim ve Analiz Süreçleri

Tablo 3.10. Karışım Oranları kg/m³

#	Karışım ID	Çimento (Ç)	Agrega (A)	Su	Lif		Hava sürükleyici katkı, dm ³	SP	Su/Çimento	A/Ç
					Çelik	Polipropilen				
1	SF_25_NA_S	840	1220	245	78	-	-	10	0,3	1,5
2	SF_25_NA_I	840	1220	245	78	-	-		0,3	1,5
3	SF_25_NA_O	840	1220	245	78	-	-		0,3	1,5
4	SF_250_NA_S	840	1220	245	78	-	-		0,3	1,5
5	SF_250_NA_I	840	1220	245	78	-	-		0,3	1,5
6	SF_250_NA_O	840	1220	245	78	-	-		0,3	1,5
7	SF_25_A_S	840	1220	245	78	-	0,6	8	0,3	1,5
8	SF_25_A_I	840	1220	245	78	-	0,6		0,3	1,5
9	SF_25_A_O	840	1220	245	78	-	0,6		0,3	1,5
10	SF_250_A_S	840	1220	245	78	-	0,6		0,3	1,5
11	SF_250_A_I	840	1220	245	78	-	0,6		0,3	1,5
12	SF_250_A_O	840	1220	245	78	-	0,6		0,3	1,5
13	H_25_NA_S	839	1223	245	39	4,5	-	11	0,3	1,5
14	H_25_NA_I	839	1223	245	39	4,5	-		0,3	1,5
15	H_25_NA_O	839	1223	245	39	4,5	-		0,3	1,5
16	H_250_NA_S	839	1223	245	39	4,5	-		0,3	1,5
17	H_250_NA_I	839	1223	245	39	4,5	-		0,3	1,5
18	H_250_NA_O	839	1223	245	39	4,5	-		0,3	1,5

Tablo 3.11. Karışım Oranları kg/m³ (Devam)

#	Karışım ID	Çimento	Agrega	Su	Lif		Hava sürükleyici katkı, dm ³	SP (gr)	Su/Bağlayıcı	A/B
					Çelik	Polipropilen				
19	H_25_A_S	838	1221	245	39	4,5	0,6	9	0,3	1,5
20	H_25_A_I	838	1221	245	39	4,5	0,6		0,3	1,5
21	H_25_A_O	838	1221	245	39	4,5	0,6		0,3	1,5
22	H_250_A_S	838	1221	245	39	4,5	0,6		0,3	1,5
23	H_250_A_I	838	1221	245	39	4,5	0,6		0,3	1,5
24	H_250_A_O	838	1221	245	39	4,5	0,6		0,3	1,5
25	PP_25_NA_S	839	1220	245		10		12	0,3	1,5
26	PP_25_NA_I	839	1220	245		10			0,3	1,5
27	PP_25_NA_O	839	1220	245		10			0,3	1,5
28	PP_250_NA_S	839	1220	245		10			0,3	1,5
29	PP_250_NA_I	839	1220	245		10			0,3	1,5
30	PP_250_NA_O	839	1220	245		10			0,3	1,5
31	PP_25_A_S	839	1218	245		10	0,6	10	0,3	1,5
32	PP_25_A_I	839	1218	245		10	0,6		0,3	1,5
33	PP_25_A_O	839	1218	245		10	0,6		0,3	1,5
34	PP_250_A_S	839	1218	245		10	0,6		0,3	1,5
35	PP_250_A_I	839	1218	245		10	0,6		0,3	1,5
36	PP_250_A_O	839	1218	245		10	0,6		0,3	1,5

3.2.2. Sertleşmiş beton deneyleri

3.2.2.1. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneyi TS EN 196-1 standartlarında gerçekleştirilmiştir. 2000kN yükleme kapasitesine sahip tek eksenli (düşey eksen) basınç dayanım cihazı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen 40x40x160 mm boyutlarındaki 36 adet kiriş numune 7, 28, 90 kür yaşlarında basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Çalışmada kullanılan press makinesi Şekil 3.11’te verilmiştir.



Şekil 3.11. Beton press makinesi ve basınç dayanımı tayini

3.2.2.2. Ultra ses dalgası geçiş hızı (UPV)

Ultra ses Dalgası Geçiş Hızı (Ultrasonic Pulsive Velocity, UPV) testi boyutları ve ölçüleri belli olan deney numunesinin kenarlarından ultrasonik dalgalar göndererek bu dalgaların numenin bir yüzeyinden diğer bir yüzeyine ulaşana kadar geçen süreyi tahribatsız olarak ölçen elektronik bir cihazdır. Çalışmada kullanılan UPV cihazı Proceq marka bir dijital ölçüm cihazıdır. Numuneler basınç deneyine tabi tutulmadan evvel tahribatsız olan bu yöntem kullanılmıştır (Gürkan, 2022). Çalışma kapsamında, çimento esaslı lifli kompozit numunelerin mikro düzeydeki geçirgenliğini belirlemek ve betonların yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki değişimlerini incelemek amacıyla ultrases dalgası deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan UPV cihazı ve ultra ses geçiş hızı değerinin belirlenmesi Şekil 3.12’de verilmiştir. Ultra ses geçiş hızı ve betonun kalitesi arasındaki ilişkinin değerlendirme kriterleri Tablo 3.12’te verilmiştir.



UPV cihaz görseli



UPV cihazı ve UPV değerinini tayini

Şekil 3.12. UPV cihazı ve kullanımı

Tablo 3.12. Geçiş hızı ve beton kalitesi ilişkisi

Geçiş Hızı (km/sn) Beton kalitesi	Geçiş Hızı (km/sn) Beton kalitesi
4,5 üstü	Mükemmel
3,5- 4,5	İyi
3,0-3,5	Orta
3,0 altı	Şüpheli

3.2.2.3. Yüksek sıcaklık fırını (Etüv)

Üretilen beton numunelerinin bir kısmı kıyaslama yapılabilmesi ve yangın gibi yüksek sıcaklık etkisinin tespiti için 7. 28. ve 90. günlerde 250 °C de 3 saat yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler daha sonrasında hava ortamında soğumaya bırakılmıştır. Çalışmada kullanılan etüv görseli ve numunelerin yerleştirilmesi Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Yüksek sıcaklık fırını ve numunelerin yerleştirilmesi

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Basınç Dayanımı

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin basınç dayanımı değerleri 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları için karışım parametreleri ve sıcaklık etkisine göre belirlenmiştir. Numunelerin kür rejimi, sıcaklık değeri ve hava sürükleyici katkı içerme durumuna göre basınç dayanımı değerleri sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

Şekillerde görüldüğü üzere, karışım parametrelerine bakılmaksızın, laboratuvar koşulları sıcaklığında kür edilen numunelerin basınç dayanımı değerlerine kıyasen 250°C'lik sıcaklık uygulaması genel olarak numunelerin basınç dayanımını artırmış olup, karışım parametreleri ve kür yaşına göre bu değişim değişkenlik göstermiştir. Kür rejimi itibariyle, suda kür edilen numunelerde sıcaklık etkisiyle artan hidrasyon reaksiyonları nedeniyle dayanım gelişiminde daha yüksek değişimler tespit edilmiştir. Bu değişim en fazla 7 günlük kür yaşlarında tespit edilmiş olup, bu durum devam eden hidrasyon reaksiyonlarının erken dönemde nispeten daha az gelişmiş olmasından ve sıcaklık etkisiyle teşvik edilmesinden kaynaklanmaktadır (Cao ve diğerleri, 2023; Wu ve diğerleri, 2020).

28 ve 90 günlük kür yaşları için sıcaklık nedeniyle basınç dayanımında nispeten çok daha az bir değişim tespit edilmiştir. Hava geçirimsiz poşetlerde ve laboratuvar koşulları itibariyle açık havada kür edilen numunelerde basınç dayanımı değişimindeki fark çok az olarak gözlemlenmiş olup, genel itibariyle hava geçirimsiz poşette kür edilen numunelerin basınç dayanımı daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum, hava geçirimsiz poşette numune neminin nispeten daha fazla muhafaza edilmesine dayandırılabilir.

250 °C'ye kadar çimento esaslı malzemenin basınç dayanımının arttığı veya sabit kaldığı gözlemlenmiş olup, 250 °C'den düşük yüksek sıcaklık şartlarında basınç dayanımında neredeyse hiçbir değişiklik meydana gelmemektedir (Pasztetnik ve diğerleri, 2021). 200 °C'ye kadar çimento harcı ve iri agregaların yapısında fazla bir değişiklik olmaz. Fiziksel olarak bağlı su buharlaşabilir ve matrisin mikro gözeneklerinde sıkışabilir. 400 °C ve üzerinde ise, fiziksel ve kimyasal olarak bağlı suyun serbest kalması nedeniyle çatlak gelişimi başlar ve boşluklar gelişmeye başlar. Sıcaklık etkisinden dolayı çimento esaslı malzeme mikroyapısında meydana gelen boşluk basıncı tepe noktasının tipik olarak %96'sı 150 °C–250 °C sıcaklık aralığındadır (Shen ve diğerleri 2023).

Belirtilen sıcaklık aralığında sadece CSH jelinin ayrışması, alçıtaşı fazları, etrenjitin bozulması ve bazı monosülfatlar gözlenebilir. Bu durum, matris özelliklerinin bozulmasını önemli ölçüde etkilemez. Sertleşmiş çimento hamurunun en önemli fazı olan CSH jeli 600–700 °C sıcaklıklara kadar kararlılığını muhafaza etmektedir. 250 °C sıcaklığa kadar, çimento matrisi termal olarak hala çok karardır (Szeląg, 2019).

Tüm yukarıda belirtilenlere binaen uygulanan 250 °C'lik sıcaklık etkisine rağmen liflerden dolayı mikroyapısal bir kararlılık elde edilmiş olup, dayanımda azalış değil artış ile neticelenmiştir.

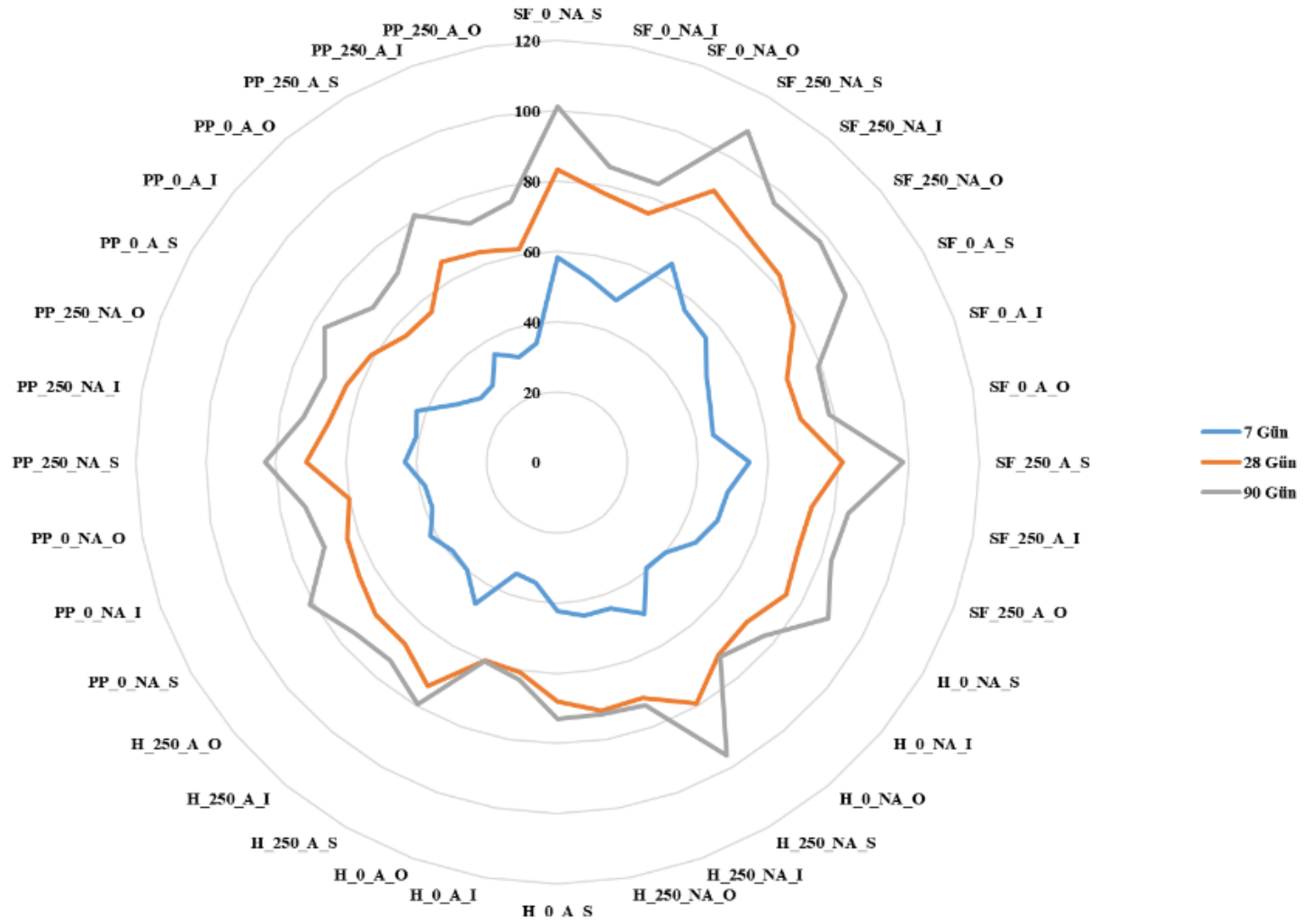
Şekillerde görüldüğü üzere basınç dayanımı itibariyle en yüksek performans çelik lifli karışımlarda elde edilirken en düşük performans ise polipropilen lif içeren karışımlarda gözlemlenmiştir. Çimento esaslı malzeme, termal gerilim ve boşluk basıncı oluşumunun birleşik etkisi nedeniyle sıcaklık etkisi altında parçalanma eğilimindedir. Karışım tasarımı, sıcaklık etkisi altında çimento esaslı malzemede dağılmayı önleme stratejisi için, malzeme dayanımını artırmak adına çelik lifler ve boşluk basıncı oluşumunu da azaltmak için polipropilen lifler eklenmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar çelik lif donatılı kompozitlerin artık dayanımlarının yüksek oranda etki eden sıcaklığa bağlı olduğunu göstermiştir (Chen, 2014; Guo ve diğerleri 2014). Genel olarak, yüksek sıcaklık etkisi altında çelik lifler malzeme dayanımını iyileştirmekte ve iyileştirmedeki bu oran lif dozajına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. En iyi performans normalde %1,5 ve %2 çelik lif içeren kompozitlerde elde edilirken, bildirilen farklı çalışmalarda ise %1-2 çelik lif içeren kompozitlerde gelişmiş bir basınç dayanımı gözlemlenmiştir (Xie ve diğerleri 2018; Guo, 2014; Zheng, 2012).

Oda sıcaklığında, lif donatılı betonların basınç dayanımı az miktarda polipropilen lifi eklenerek iyileştirilebilir. Yüksek sıcaklığa maruz kaldığında, polipropilen lifi, lif donatılı betonların parçalanma hasarını etkili bir şekilde azaltabilir ve bu da gelişmiş bir artık basınç dayanımına yol açar. Deneysel sonuçların çoğu (Xie ve diğerleri 2018; Eidan, 2019; Aslani, 2018), PP lif içeren çimento esaslı kompozitlerin artık basınç dayanımının tepe sıcaklığının artmasıyla azaldığını göstermektedir çünkü PP (polipropilen) lifler liflerin ergime sıcaklığının aşılması ile birlikte erir ve sıcaklık artışı nedeniyle oluşan iç su basıncını serbest bırakmaya yardımcı olan kanallar oluşturur. Sadece Polipropilen (PP) liflerinin kullanıldığı çimento esaslı lifli kompozitlerde, dökülme/pullanma eğilimi azalırken, %1 çelik lif (SF) eklenmesi ciddi bir dökülme/pullanma sorununa yol

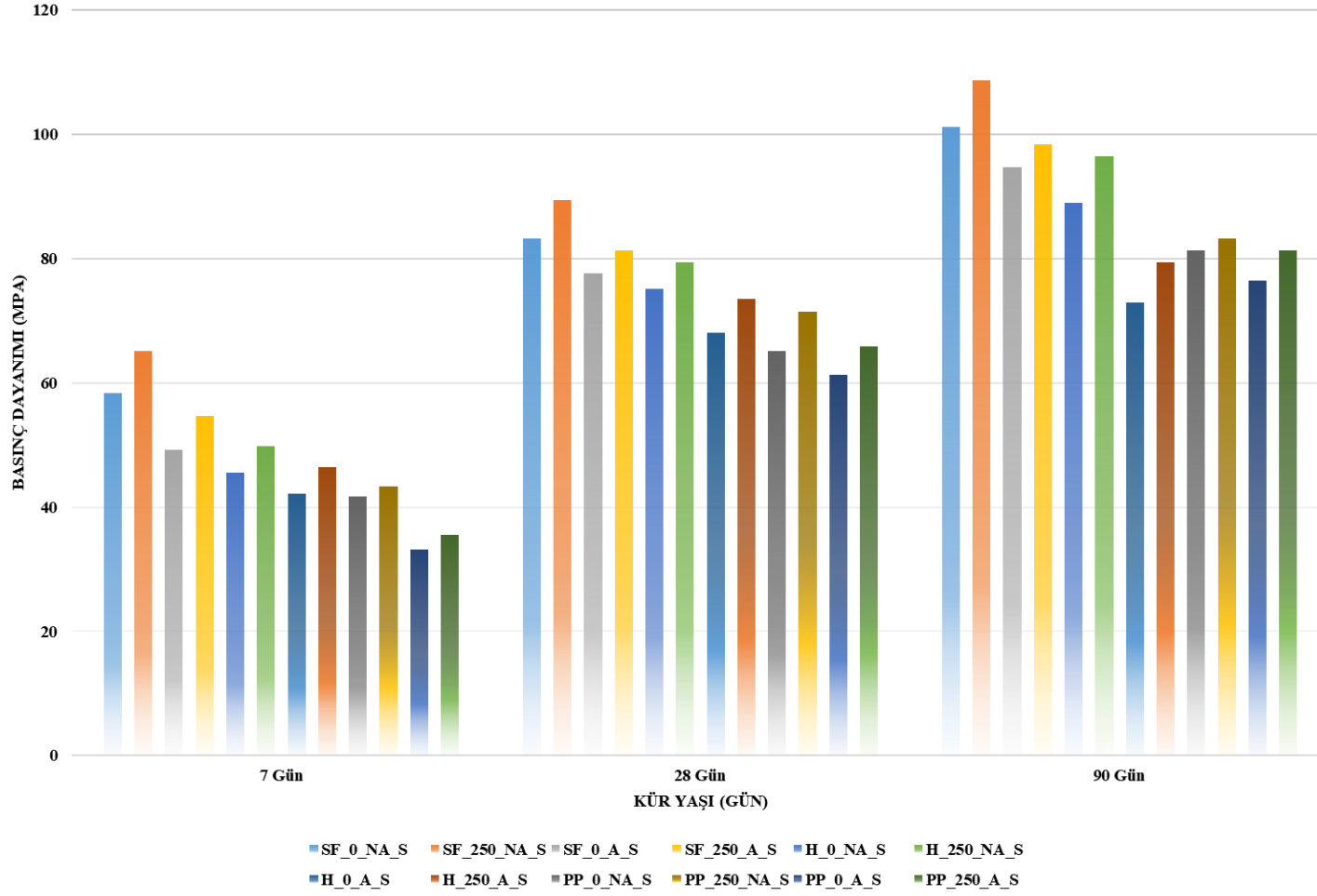
açabilmektedir. Bunun nedeni, PP lifin beton içinde küçük kanallar oluşturmaları, gözenekliliği artırması ve yüksek iç gerilimlere neden olmadan buharın matris içinde hareket etmesini kolaylaştırması olup (Czoboly, 2017), SF'nin ise daha yüksek sıcaklıklarda uzaması ve lifli kompozit içinde ilave gerilmeler oluşturmalarıdır. PP life kıyasen çelik lif, yüksek sıcaklıklarda daha fazla gerilmeye dayanabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda çelik lif, ne tamamen bozulmamış ne de iç gerilimin önemli hale geldiği bir noktaya kadar uzamıştır. Her iki lifin hibrit kombinasyonu ile gerilmeler açısından dengeli bir matris oluşturmalarından dolayı termal şokun etkisi altında daha yüksek performanslı bir matris elde edilmektedir.

Lifli betonlarda, farklı tipte takviye lifleri yangına dayanıklılıkta farklı roller oynayabilir. Çelik lifler, mikro çatlakların oluşumunu ve genişlemesini kısıtlarken PP lifleri ise su buharını serbest bırakmak için kanallar sağlamaktadır. Farklı liflerin avantajlarının kombine edilmesi ile elde edilen sinerji münferit lif kullanımından ziyade hibrit lif kullanımını daha da yaygınlaştırmıştır. Nitekim Şekillerde görüldüğü üzere hibrit lifli kompozitlerin performansı sadece polipropilen içeren karışımlardan çok daha iyi gözlemlenmiştir. Sıcaklık etkisi altındaki lifli kompozitlerde, karışım parametreleri ve kür yaşına bakılmaksızın, hava sürükleyici katkının kullanılması her ne kadar basınç dayanımını düşürse de lifli kompozitin artık dayanımı üzerinde olumlu etkisi olduğunu sonuçlardan görebilmekteyiz.

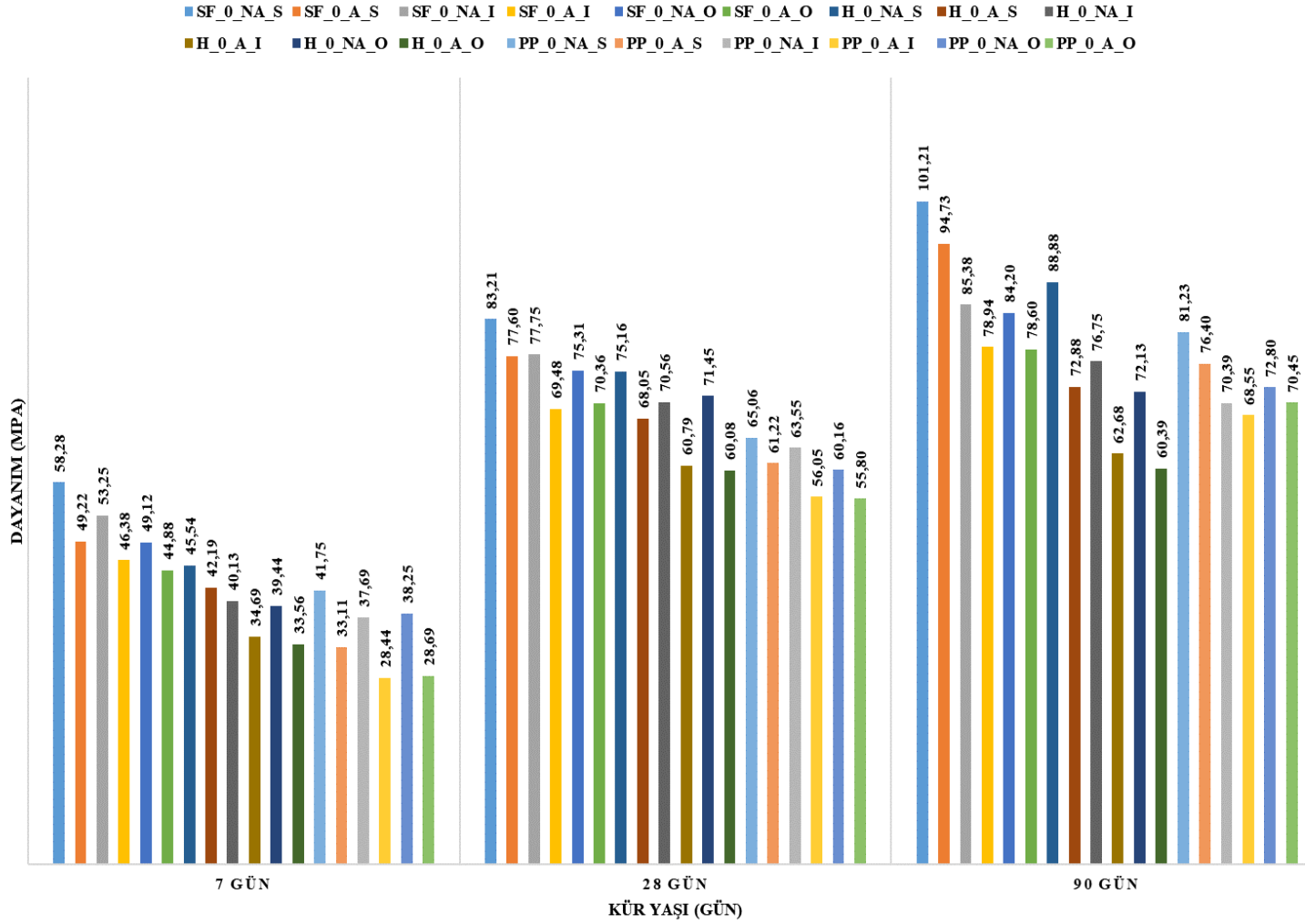
Hava sürüklenmesinin neden olduğu çimento esaslı malzemenin daha yüksek gözenekliliği boşluk buhar basıncını düşürebileceğinden, bu da mikro çatlakların ve çimento esaslı kompozitlerin parçalanmasının miktarını ve yoğunluğunu azaltabileceğinden sıcaklık etkisi altındaki kompozitlerde karışım parametresi olarak tasarımı dikkat edilmesi gereken önemli bir parametredir (Holan, 2020). Çünkü, porozite, gözenek boyutu ve gözenek dağılımı çimento esaslı malzemenin dayanım, dayanıklılık ve geçirimsizliğini etkileyen birincil faktörlerdir. Sıcaklık etkisi ile hem gözeneklilik artmakta hem de gözenek boyutunda irileşme meydana gelmektedir. (Li ve diğerleri 2020). Gözeneklilik, betonun ısı iletkenliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir.



Şekil 4.1. Kür rejimi ve kür yaşına göre basınç dayanımı değerleri



Şekil 4.2. Nem durumuna göre basınç dayanımı değerleri



Şekil 4.3. Hava sürükleyici katkı içeriğine göre basınç dayanımı değerler

4.2. Ultrases Dalgası Geçiş Hızı (UPV)

Ultrases dalgası geçiş hızı (UPV), çimento esaslı malzemelerin mikroyapısal özelliklerinin değerlendirilmesi için tercih edilen tahribatsız deney yöntemlerinden biridir (Demirel, 2021; Demirhan, 2020). Çalışma kapsamında üretilen 36 karışımın UPV sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4'te görüldüğü üzere suda kür edilen numunelerin hidrasyon süreci hem poşet hem de hava şartlarında kür süreci devam ettirilen numunelere kıyasen daha fazla nem şartlarına sahip olduğu için nispeten artan hidrasyon ürünlerinden dolayı daha yoğun bir mikro yapı ile neticelenmiş olup, suda kür edilen numunelerin UPV sonuçları daha yüksek çıkmıştır. Öte yandan, genel olarak, poşette ve laboratuvar koşullarında kür edilen numunelerin UPV sonuçları ise neredeyse aynı gözlemlenmiştir. Kür yaşı, lif türü ve hava sürükleyici katkı içeriğine bakılmaksızın 250 °C sıcaklık etkisi mikro yapıda değişim ile neticelenmiş olup, sıcaklık etkisi altında numunelerin içerdiği nem düzeyi bu durumu olumsuz etkilemiştir (Heijden ve diğerleri 2007; Ding, 2016).

Çimento esaslı malzemelerde yüksek sıcaklığa maruz kalma, matris içindeki suyun buharlaşmasıyla neticelenir. Şekil 4.4'te de görüldüğü üzere, kür yaşına bakılmaksızın genel olarak tüm karışımlar için suda kür edilen numunelerin UPV sonuçlarında en yüksek düşüş elde edilmiştir. Sıcaklık etki hızı yüksek ve çimento esaslı malzemenin mikroyapısı yeterince yoğunsa, oluşan su buharının kaçışı yeterince hızlı olmaz. Bu durum, matris içindeki boşluklarda çok yüksek seviyelerde boşluk basıncının oluşmasına neden olur ve çimento esaslı malzemenin çekme kapasitesi yeterli değilse, hem pullanma hem de yapı elemanlarının parçalanmasıyla neticelenir.

Genel olarak, termo-higral veya termo-mekanik hasarın/etkinin bir sonucu olarak mikroyapısal çatlak oluşumu artar. Termo-higral süreç, aynı zamanda kısıtlanmış nem olarak da adlandırılan betondaki gözenek ağı yoluyla suyun kütle transferidir. Kısıtlanmış termal genleşme olarak da bilinen termo-mekanik süreçte, sıcaklığa maruz kalmış betonda bulunan su buharı nedeniyle yüksek basınç oluşur ve yüzeye paralel bir düzlemde eleman yüzeyine yakın basınç gerilmeleri oluşturur. Bu gerilmeler, parçalanmaya neden olan gevrek göçme/kırılma ile salınır (Malik, 2021). Bir başka ifadeyle, neme doymuş numunelere kıyasen kuru numunelerde termal iletkenlik daha azdır (Zhang 2015, Duran-Herrera, 2016). Nitekim, tasarlanan karışımlar 0.3 gibi çok düşük bir su-bağlayıcı oranı ile tasarlandığı için hem poşette kür edilen hem de havada kür edilen numunelerin sıcaklık işlemi sonrası mikroyapısal değişimlerinde neredeyse aynı sonuçlar elde edilmiştir. Tüm bu durumlar yangın etkisi altında kalan numunelerde nem muhtevasının yüksek olmasının mikro yapısal tahrip düzeylerinin yüksek olacağını göstermektedir. Çünkü, matris içindeki serbest su sıcaklık etkisiyle buharlaştıktan sonra dahilde

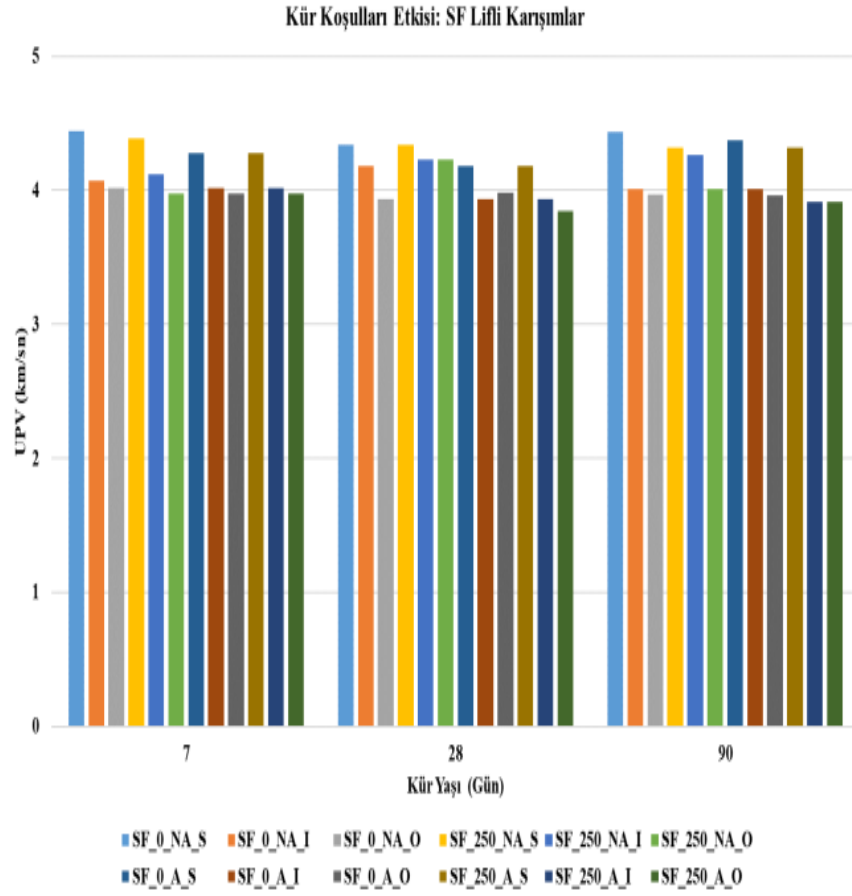
buhar basıncı nedeniyle gerilme oluşturmakta olup, bu durum hem dayanımı düşürmekte hem de çatlak oluşumu ve gelişimi tetiklendiği için yangın sonrası durabilite problemlerine daha fazla maruz kalma potansiyelini oluşturacaktır.

Hava sürükleyici katkının betonda oluşturduğu nispeten daha yüksek bir gözeneklilik, gözenek buhar basıncını azaltmakta olup, bu durum, mikro çatlakların miktarını ve yoğunluğunu azaltmakla neticelenmektedir (Holan, 2020; Khaliq ve diğerleri 2017). Hava sürükleyici katkı içeren ve sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin UPV değerlerindeki değişim BF içeriği arttıkça artmakta olup, PP içeren karışımlarda nispeten çok daha düşük bir azalma tespit edilmiştir. Çünkü PP lifleri sıcaklık etkisi altında eridiği ve buhar basıncının tahliyesini sağladığı için hava sürükleyici katkı gibi bir etki oluşturup nispeten daha az mikroyapısal bir değişim elde edilmesini sağlamaktadır (Khaliq ve diğerleri 2017; Khaliq ve diğerleri 2011)

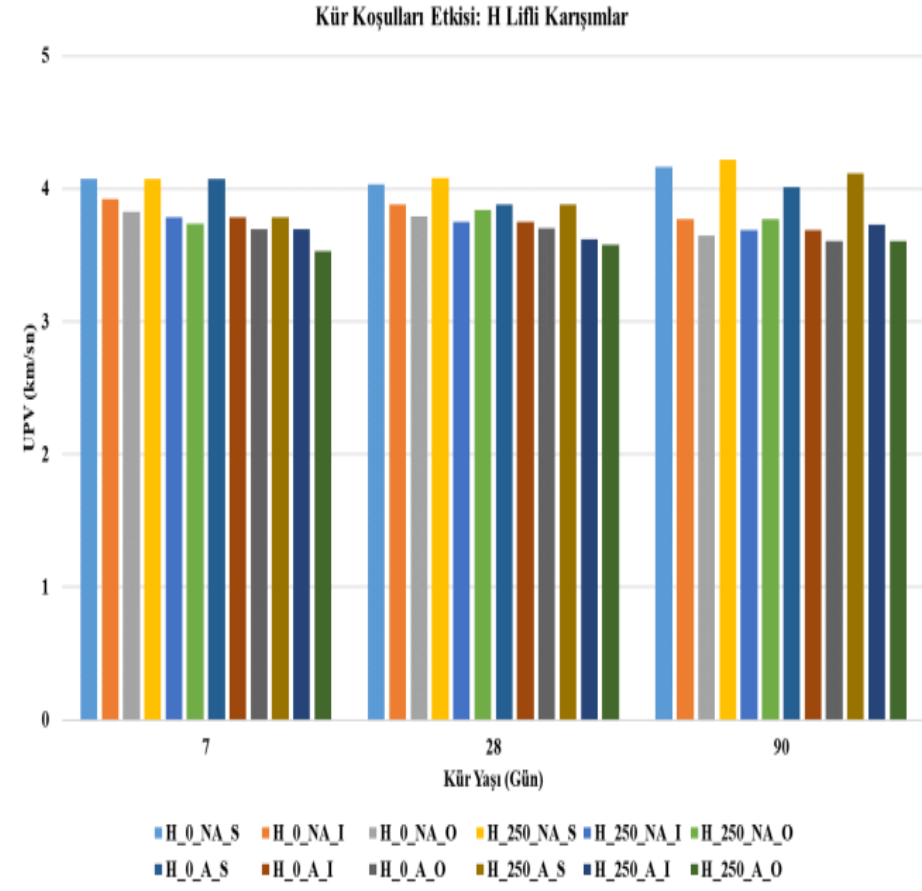
Beton teknolojisinde kullanılan lifler farklı mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Lifler, çimento esaslı malzemelerin yüksek sıcaklık etkisi altında performansının iyileştirilmesinde farklı roller oynayacak olup, lifli betona farklı özellikler kazandırabilmektedirler. UPV sonuçlarının temsil edildiği Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, SF içeren karışımların UPV değerleri nispeten daha yüksek çıkmış olup, en düşük değerler PP içeren karışımlarda gözlemlenmiştir. Liflerin iletkenlik özellikleri de UPV sonuçlarını etkileyen bir diğer faktördür. SF, pirinç kaplı çelik bir lif olup, polimerik bir malzeme olan PP lifine kıyasen daha iletken bir malzemedir. Bunun dışında, çelik liflerin termal kararlılıkları yüksek iken polipropilen liflerin termal kararlılıkları ise zayıftır. Bu nedenle, PP'ye kıyasen SF lifinin kullanıldığı karışımlarda nispeten daha yüksek UPV değerlerinin tespit edilmesindeki bir diğer etken ise BF liflerinin boyutsal kararlılığının ve dolayısıyla matrisin boyutsal stabilitesinin nispeten daha yüksek performans ile neticelenmesidir. Zayıf bir termal kararlılığa sahip olan polipropilen gibi lifler, 180 °C–300 °C civarında etkiyen sıcaklık aşamasında ergimektedir. Bu durum, çimento esaslı malzeme içindeki hidratasyon ürünü olan kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeli tarafından ayrıştırılan su buharı için bir çıkış oluşturan ince kanallar oluşturur. Azaltılmış iç basınçla neticelenen bu mikroyapısal durum lifli betonların daha yüksek bir direnç ile neticelenmesini sağlar (Li, 2019).

PP'ye kıyas edildiğinde BF, yüksek sıcaklık etkisi altında gerilmelere daha fazla direnç gösterdiğinden dolayı her iki lifin hibrit kombinasyonu gerilmeler açısından dengeli bir matris oluşturmaktan dolayı yüksek sıcaklıklar altında daha kararlı bir mikro yapı elde edilmektedir. Belirtilen açıklamalara ilave olarak, yüksek sıcaklıktan dolayı erken dönemde teşvik edilen hidratasyon reaksiyonları ve dolayısıyla oluşan ilave hidratasyon ürünleri nedeniyle mikroyapıda iyileşme meydana gelmiş olup, karışım parametresi fark etmeksizin 7

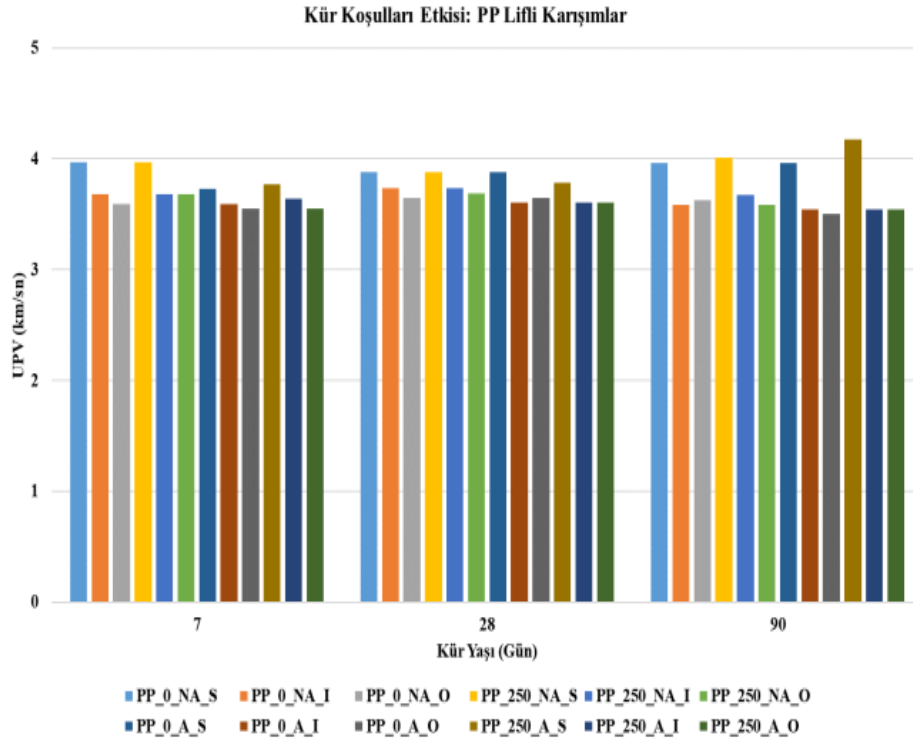
günlük kür yaşı için UPV değeriindeki değışim daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir (Wu, 2020).



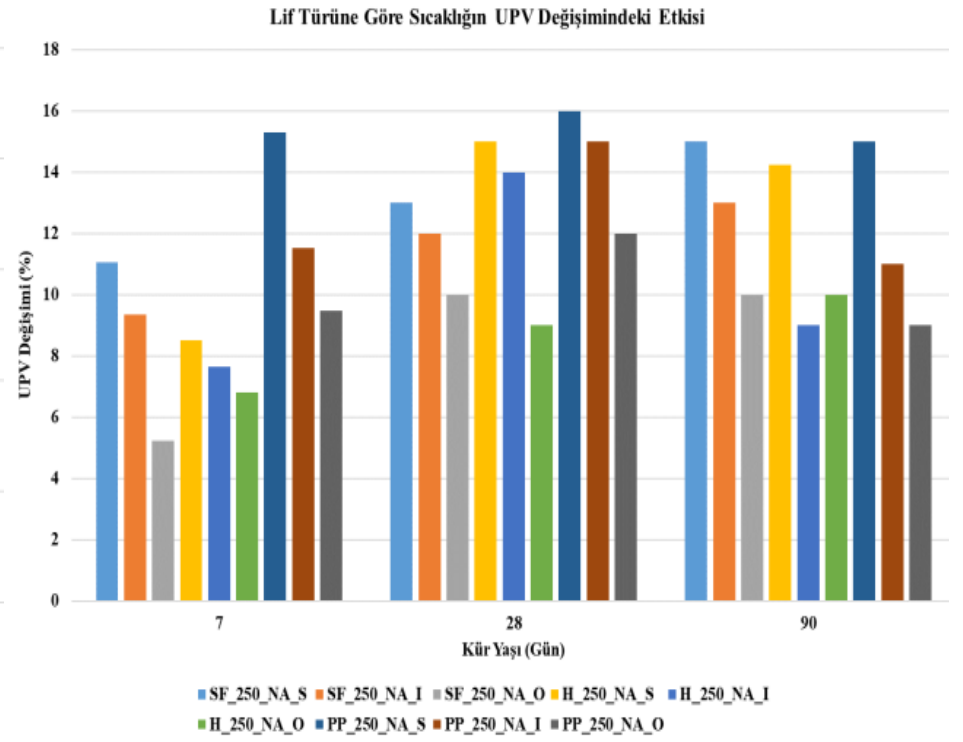
Şekil 4.4.
a) SF lifli karışımların UPV sonuçları



Şekil 4.4.
b) H lifli karışımların UPV sonuçları



Şekil 4.4.
c) PP lifli karışımların UPV sonuçları



Şekil 4.4.
d) Sıcaklık değişiminin UPV değerine etkisi

4.3. Görsel Değişim ve Mikro Yapısal Özellikler

250 °C sıcaklığa maruz bırakılan çimento esaslı lifli kompozitlerin mikroyapısal özelliklerindeki değişimi ve çatlak gelişimini değerlendirmek maksadıyla 28 günlük numuneler üzerinde ASTM C1723'e (ASTM C1723 2016) uygun olarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. SEM görüntülerine ilave olarak numunelerin işlem öncesi ve sonrası fiziksel durumunu gösterir dijital görüntüleri de elde edilmiştir.

Basınç dayanımı bölümünde de belirtildiği üzere en yıpratıcı mikroyapısal şart nem oranının yüksek olduğu koşullardır. Buna binaen, fiziksel değişimin gözlemlenmesi için mevcut deneysel çalışma kapsamında suda kür edilerek üretilen numunelerin 7 ve 28 günlük kür yaşları için sıcaklık öncesi ve sonrası fiziksel görünüşleri Tablo 4.1'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere, genel olarak, sıcaklık artışıyla birlikte numune yüzeylerinde nem kaybından dolayı bir değişim meydana gelmiş olup, uygulanan sıcaklığa kadar numunelerin yüzey renk tonlarında gözle görülür bir değişiklik tespit edilmemiştir. Sıcaklığın 250 °C'ye ulaştığı seviyelerde çimento matrisinin termal stabilitesi korunmaktadır (Szeląg, 2019).

Buna binaen, uygulanan 250 °C'lik sıcaklık etkisine rağmen mikroyapısal kararlılığın bir yansıması olarak fiziksel olarak herhangi bir değişimle sonuçlanmamıştır. Belirtilenlere ilave olarak, karışım ve lif gibi içerdikleri bileşenlerine bakılmaksızın numune yüzeylerinde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir. Farklı geometrik ve mekanik özelliklere sahip olan lifler, matris ve çatlaklar arasında köprü oluşturarak (PP lifleri ergime sıcaklığına ulaşınca kadar) çatlak oluşumunu geciktirmektedir (Zhang, 2020; Zhang 2023). Böylece, polipropilen ve çelik liflerin münferit ve hibrit formda karışımlara eklenmiş olması çatlak oluşumu ve gelişimini kısıtlamış olup, boyutsal kararlılık sağlanmıştır (Wu ve diğerleri 2020).

Tablo 4.1. Kür yaşına göre sıcaklık öncesi ve sonrası numune fiziksel durumları

	Karışım ID	7. Gün	
		250 °C Öncesi	250 °C Sonrası
7. Gün	SF_25_NA_S		
	SF_250_NA_S		
	SF_25_A_S		
	SF_250_A_S		
	Karışım ID	28. Gün	
		250 °C Öncesi	250 °C Sonrası
28. Gün	SF_25_NA_S		
	SF_250_NA_S		
	SF_25_A_S		
	SF_250_A_S		

28 günlük kür yaşı için seçilmiş karışımların hidrasyon ürünleri ve mikroyapısal karakteristiğini gösteren SEM görüntüleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Tüm karışımlar için hidrasyon ürünleri genel olarak C-S-H jeli, CH ve etrenjit olarak tespit edilmiştir. Çimento hamurunun katı fazında hidrasyon ürünü olarak kalsiyum hidroksit sütun veya plaka şeklinde olabilmektedir. Mevcut SEM görüntülerinde, hidrasyon ürünü olan sönmüş kireç esas olarak portlandit formunda gözlemlenmiştir. Oluşan sönmüş kireç kristallerinin morfolojisi, kristalizasyon için mevcut boş alana dolayısıyla su-bağlayıcı oranına, katkıların ve katkı maddelerinin türüne bağlıdır. Bunlara ek olarak, morfolojiyle birleştirildiğinde hidrogarnet

olduğu söylenebilir olan bir ürün daha gözlemlenmiştir (Ríos ve diğerleri 2009; Zhang, ve diğerleri, 2022).

Yarı kararlı fazlardan olan CAH_{10} , C_2AH_8 ve C_4AH_{13} 'ten dönüşen hidrogarnet'in dönüşüm hızı sıcaklıkla pozitif ilişkili olup, bu dönüşüm hızı 50 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda artmaktadır (Li, 2022; Wdowin ve diğerleri 2014).

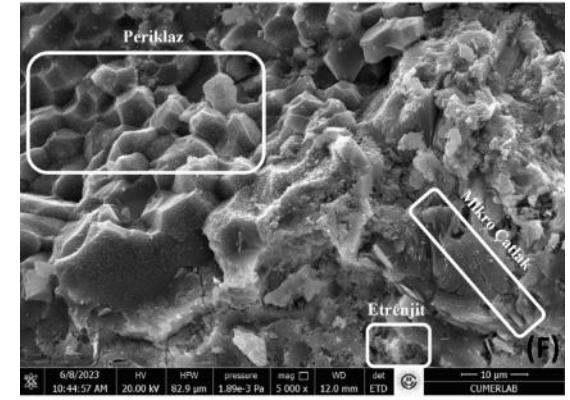
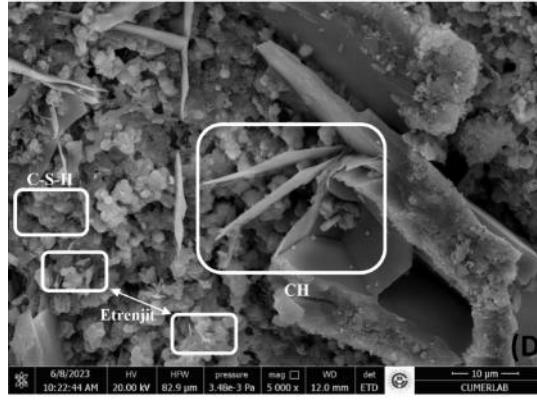
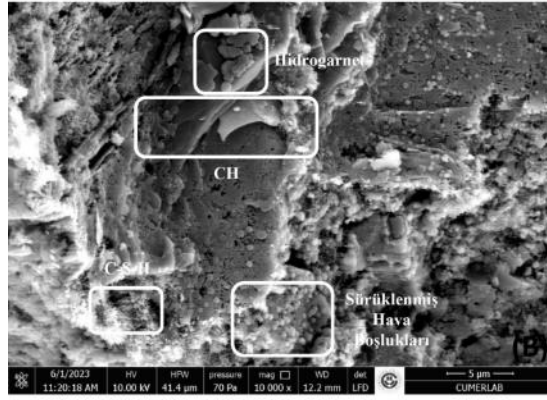
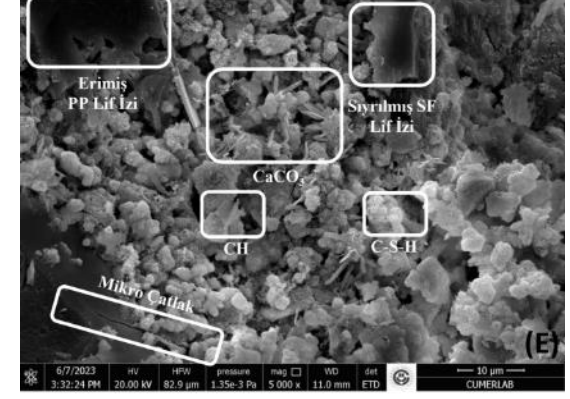
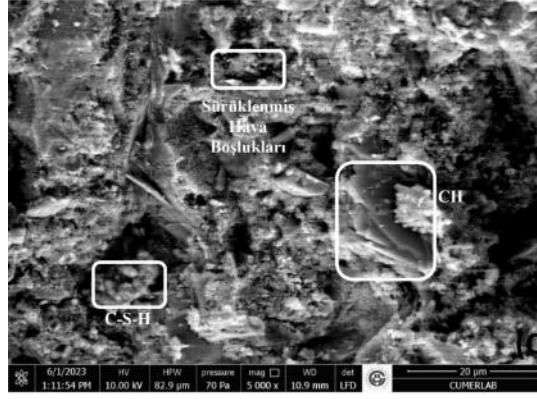
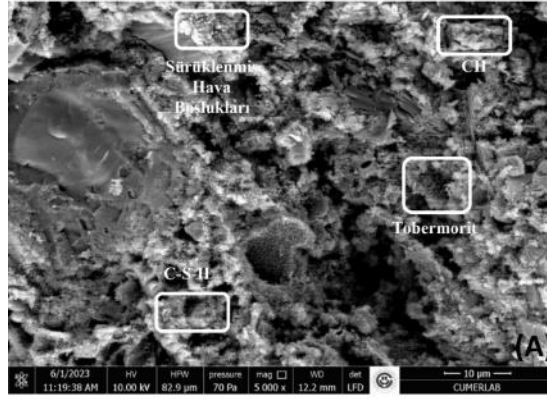
Magnezyum oksitin kübik bir formu olan periklaz renksiz bir mineraldir. SEM görüntüleri aynı zamanda klinker kalıntılarını oluşturan minerallerin (örneğin periklaz) tanımlanmasına da olanak sağlar. Şekil 4.5-F'de görüldüğü üzere matris içinde periklaz gibi farklı ürünlere de rastlanılmıştır.

28 günlük hidratasyon süresi ve su/bağlayıcı oranı çok düşük olan karışımlar olması nedeniyle, Şekil 4.5'te gösterildiği üzere tüm karışımların SEM görüntülerinde çok düşük oranlardaki bir poroziteye rastlanılmıştır. Öte yandan, 250 °C'ye maruz kalmadan oda sıcaklığında kür edilen numunelerde bile çok küçük mikro çatlaklar tespit edilmiş olup, iç çatlama aynı zamanda sıcaklık nedeniyle matris içindeki birikmiş buhar basıncına da atfedilir ve bu, nemin atmosfere geçişi yoluyla hafifletilebilir. Çünkü bu tür çatlama, sıcaklık etkisi sırasında numunelerdeki suyun taşınması ve buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, bu durum sıcaklık etkisinden değil de rötre çatlağı veya SEM numunesi basınç dayanımı testi sonrası alındığı için gerilme kaynaklı oluşan çatlaklar olabilmektedir (Kevinly, 2023; Saif, 2023).

Sıcaklık etkisinin boyutsal kararlılık üzerine olan olumsuz etkisini azaltmak nedeniyle kullanılan hava sürükleyici katkı nedeniyle mikro yapısal çatlak gözlemlenmemiş olup, olumlu bir etki elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.5-b). Literatürde, lifsiz numunelerde suyun bağlayıcıya oranı 0,3 ve 0,35'e eşit olduğunda agrega ile çimento matrisi arasında iyi bir bağ kalitesinin olduğu ve çimento matrisinin çok yoğun olduğu sonucuna varılmıştır (Hosseinzadeh, 2023; Yuan, 2021). Gözlemlenen mikro çatlaklar buna dayandırılabilir.

PP liflerinin ergime sıcaklığı 175 °C olduğu için uygulanan 250 °C sıcaklık etkisi nedeniyle erimiştir (Şekil 4.5-e). PP liflerinin erimesi sonucu oluşan iğne benzeri kanallar ve gözenekler, buhar basıncını tahliye etmeye ve çimento esaslı malzemede mikro yapısal çatlak oluşumuna karşı direncini artırmaya yardımcı olur (Zhou, 2023). Dolayısıyla, çimento esaslı malzemelerde kullanılan polipropilen lifleri yüksek sıcaklık etkisi altında matrisin parçalanma hasarını etkili bir şekilde azaltmakta olup (Eidan, 2019), elde edilen mikroyapısal kararlılığın bir neticesi olarak matris içinde çok daha az sayıda mikro çatlak oluşmaktadır (Şekil 4.5-e ve Şekil 4.5-f). Şekillerde görüldüğü gibi, 250°C'ye maruz bırakılan numunelerin mikroyapısal yüzey morfolojisinde oda sıcaklığındaki numuneler ile kıyas edildiğinde belirgin bir değişiklik

yoktur. Bununla birlikte, özellikle suda ve poşette kür edilen numunelerde suyun serbest kalmasından kaynaklanan (Cao ve diğerleri 2023) çok sayıda gözenek bulunmuştur. SEM görüntüleri genel olarak incelendiğinde 250 C sıcaklık derecesinin mikroyapısal kararlılık sağlandığı için mikro çatlaklar ile neticelenmediği ve hava sürükleyici katkı kullanımının da özellikle sıcaklık nedeniyle mikro çatlak oluşumunu kısıtladığı için olumlu etkileri tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. SEM görüntüleri

5. SONUÇLAR

Çimento esaslı lifli kompozitlerin basınç dayanımı, UPV değerleri ve SEM görüntüleri incelenerek kür rejimi, sıcaklık etkisi, hava sürükleyici katkı ve lif türünün bahse konu sonuçlar üzerine olan etkisi 7, 28 ve 90 günlük kür yaşları için incelenmiştir. Değişkenlere bağlı olarak elde edilen verilere göre aşağıda verilen sonuçlara varılmıştır.

- ✓ Kür yaşı ve diğer değişkenlere bakılmaksızın 250°C'a kadar mikroyapısal kararlılığın sağlandığı tespit edilmiştir.
- ✓ Suda kür edilen numunelerde, 250 °C sıcaklık sonrası basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir. En yüksek artış 7 günlük kür yaşında tespit edilmiş olup, 28 ve 90 günlük kür yaşları için nispeten daha az bir değişim gözlemlenmiştir.
- ✓ Poşette ve havada kür edilen numunelerin sonuçları çok yakın tespit edilmiş olup, poşette kür edilenler havadakilere kıyasen biraz daha yüksek tespit edilmiştir.
- ✓ Pirinç kaplı çelik liflerde artık basınç dayanımı daha yüksek gözlemlenmiştir. SF ve PP liflerinin kombinasyonu ile üretilen hibrit karışımlarda ikinci derecede daha yüksek olarak sonuçlar elde edilmiştir.
- ✓ Hava sürükleyici katkı kullanımı boyutsal ve mikroyapısal kararlılığa katkı sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Mevcut deneysel araştırma, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BTÜBAP) tarafından BTÜBAP-2022-YL-17 proje kimliği ile finansal olarak desteklenmiştir. Yazarlar, mali desteğinden dolayı BTÜBAP'a teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR

- Açıkgenç, M. (2015). Çelik Lif Donatılı Betonların Tasarımı İçin Grafik Tabanlı Bir Yaklaşım.
- Adar, M., Bingöl, A. F., & Adar, E. (2020). Kendiliğinden Yerleşen Betonun İşlenebilirliğine ve Yüksek Sıcaklık Direncine Polipropilen Lifin Etkisi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi.
- Ağcakoca, E., & Yaman, Z. (2018). Beton Numunelerde Minimum Oranda Fiber Takviyesinin Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi. Sakarya: International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management.
- Akçay, B., & Taşdemir, M. A. (2012). Mechanical behaviour and fibre dispersion of hybrid steel fibre reinforced self-compacting concrete. Construction and Building Materials.
- Akın, S., Kaplan, A. N., & Özel, C. (2022). Farklı Uzunluktaki Doğal Liflerin Beton Performansı Üzerine Etkileri. 6(2). Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi.
- Akyüz, E. (2013, MART). Kür, Sıkıştırma, Sıcaklık ve Yağış Koşullarının Beton Basınç Dayanımına Etkisi.
- Alawad, O., Alhozaimy, A., Jaafar, M., Abdulaziz, F., & Al-Negheimish, a. (2015). Effect of autoclave curing on the microstructure of blended cement mixture incorporating ground dune sand and ground granulated blast furnace slag. International Journal of Concrete Structures and Materials.
- Al-hagrı, M. G. (2023). Katkı Malzemeleri, Çelik Lif Ve Çelik Levha İle Güçlendirilmiş İki Doğrultulu Betonarme Döşemelerin Düşük Hızlı Çarpma Yükleme Etkisindeki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Konya.
- Alhamad, A. Y. (2022). Performance of different concrete types exposed to elevated temperatures: a review. Materials, 15(14), 5032.
- Altındal, I. (2020). Değişik Geopolimer Beton Numunelerin Farklı Kür Koşulları Altında Basınç Dayanımının Değişimi. İstanbul : Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aral, M. (2006, Kasım). Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım.
- Aras, E. (2012). Hava ve Su Kürü Uygulanmış Farklı Oranlarda Uçucu Kül İçeren Yüksek Dayanımlı Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisi Altındaki Davranışlarının Araştırılması.
- Aras, E. (2019). Hava ve Su Kürü Uygulanmış Farklı Oranlarda Uçucu Kül İçeren Yüksek Dayanımlı Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisi Altındaki Davranışlarının Araştırılması.
- Aras, E. (tarih yok). Hava ve Su Kürü Uygulanmış Farklı Oranlarda Uçucu Kül İçeren Yüksek Dayanımlı Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisi Altındaki Davranışlarının Araştırılması.

- Arslan, M. E. (2017). Bazalt liflerin geleneksel betonların mekanik özellikleri ve kırılma enerjilerine etkilerinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. doi:10.5505/pajes.2016.95815
- Ashkezari, G. D. (2020). Ashkezari, G. D., & Razmara, M. (2020). Thermal and mechanical evaluation of ultra-high performance fiber-reinforced concrete and conventional concrete subjected to high temperatures. Journal of Building Engineering, 32, 101621.
- Aslani, F. &. (2018). Assessment and development of high-performance fibre-reinforced lightweight self-compacting concrete including recycled crumb rubber aggregates exposed to elevated temperatures. Journal of Cleaner Production, 200, 1009-1025.
- ASTM C1723, Standard Guide for Examination of Hardened Concrete Using Scanning Electron Microscopy, 2016. (2016).
- Atalay, E. (2020). Karma Lif Takviyeli Kendiliğinden Yerleşen Betonun Yüksek Sıcaklığa Direncinin Araştırılması. Malatya: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ataş, Z. (2013). Hava Sürükleyici Ve Lif Katkısı İçeren Çimento Harçlarının Donma-Çözülme Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi.
- Baradan, B. v. (2003). Betonarme Yapılarda Durabilite ve Ts En 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler. (426), s. 62-69.
- Bayasi, z., & Soroushian, P. (1991). Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete.
- Bikhiet , M., Shafey , N., & El-Hashimy , H. (2014). Behavior of Reinforced Concrete Short Columns. Alexandria University Engineering Journal.
- Bingöl, A., & Gül, R. (2009). Donatı Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme. 211-230. Tübvav Bilim Dergisi,.
- Buch , S., & Sharma , U. (2019). Empirical model for determining fire resistance of Reinforced Concrete columns. Construction and Building Materials.
- Cao, K., Liu, G., Li, H., Huang, Z., & Wu, G. (2023). Correlation between macroscopic properties and microscopic pore structure in steel-basalt hybrid fibers reinforced cementitious composites subjected to elevated temperatures.
- Chen, G. M. (2014). Compressive behavior of steel fiber reinforced recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperatures. Construction and Building Materials, 71, 1-15.
- Chen, T., Gao, X., & Ren, M. (2018). Effects of autoclave curing and fly ash on mechanical properties of ultra-high performance concrete. Construction and Building Materials.
- Cheng, P., Zhu, H., Zhang, Y., Jiao, Y., & Fish, J. (2022). Couple thermo-hydro-mechanical-phase field modeling for fire-induced spalling in concrete.
- Chithra, S., & Dhinakaran, G. (2014). Effect of Hot Water Curing and Hot Air Oven Curing on Admixed Concrete. International Journal of ChemTech Research.

- Cingi, R. (2017, Ağustos). Çimento Esaslı Lifli Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık ve Yangın Etkisinde Davranışı.
- Czoboly, O. L. (2017). Fibers and fiber cocktails to improve fire resistance of concrete. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 128, 1453-1461.
- Çağar, P. K. (2021, Haziran 30). Endüstriyel Ürünlerin Tasarımında Yaygın Yer Edinen Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Özellikleri. 3(2), s. 79-88.
- Çivici, F., & Güngör, E. (2016). Karma lifli betonların tokluk açısından değerlendirilmesi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi.
- Demir, İ. (2019, Şubat). Farklı Tip Ağır Agregalarla Üretilen Polipropilen Lifli Ağır Betona Yüksek Sıcaklık Etkisi. Kırıkkale.
- Demir, I., Gümüş, M., & Sevim, Ö. (2019). High Temperature Effect on Polypropylene Fiber Heavy Concrete Produced with Barite Aggregate.
- Demirel, Ö. (2021). Mikronize Kalsit İçeren Yüksek Hacimde Uçucu Kül Katkılı Çimento Harçlarının Mikro yapısal Özelliklerinin İncelenmesi. Batman.
- Demirhan, S. (2020). Combined Effects of Nano-Sized Calcite and Fly Ash on Hydration and Microstructural Properties of Mortars . *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 20 (6) , 1051-1067 . DOI: 10.35414/akufemubid.825862.
- Derinpinar, A., Özcan, A., & Karakoç, M. (2022). Performance of glass powder substituted slag based geopolymers under high temperature. *Construction and Building Materials*.
- Ding, Y. Z. (2016). Influence of different fibers on the change of pore pressure of self-consolidating concrete exposed to fire. *Construction and Building Materials*, 113, 456-469.
- Duran-Herrera, A., Campos-Dimas, J. K.-T., & Bentz, D. P. (2016). Effect of a micro-copolymer addition on the thermal conductivity of fly ash mortars. *Journal of building physics*, 40(1), 3-16.
- Durmuş , G., Can , Ö., & Gökçe, H. (2009). Hava sürükleyici katkılı betonun farklı depoların incelenmesi. *Konferans: Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu ve Sergisi*. Ankara.
- Durmuş, G. &. (2010). Yüksek sıcaklığın ve farklı soğutma koşulunun kalker agregalı betonlar üzerindeki etkilerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4).
- Durmuş, G., & Arslan, M. (2010). Yüksek sıcaklık uygulanan çimento harçlarının farklı soğutma koşullarındaki bazı fiziksel özellikleri. 25(3), 541-548. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/75792> adresinden alındı

- Dündar, B., & Çınar, E. (2020). Farklı Mineral Katkılı Hafif Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi. 9(2). <https://doi.org/10.46810/tdfd.729752> adresinden alındı
- Eidan, J. R. (2019). Residual mechanical properties of polypropylene fiber-reinforced concrete after heating. *Construction and Building Materials*, 198, 195-206.
- Franus, W. P. (2015). SEM investigation of microstructures in hydration products of portland cement. In 2nd International Multidisciplinary Microscopy and Microanalysis Congress: Proceedings of InterM, October 16-19, 2014 (pp. 105-11).
- Geçten, O., & Gül, R. (2019). Hafif Ve Normal Agregalı Betonlarda Atmosferik Kürün Su Emme, Rötre Ve Isı İletkenliği Üzerine Etkileri. 12(3). Türk Bilim Araştırma Vakfı.
- Geven, E. (2019). Hava sürükleyici ve mineral katkı kullanımının çimentolu sistemlerin geçirgenlik özelliklerine ve donma-çözülme direncine etkisi. Bursa.
- Guo, Y.-C., Xie, Z.-H., Chen, G. M., & Zhang, J. (2014). Compressive behaviour of concrete structures incorporating recycled concrete aggregates, rubber crumb and reinforced with steel fibre, subjected to elevated temperatures. 193-203.
- Gülce, C. (2009). Farklı çimentolarla üretilen harçların yüksek sıcaklık ve değişik soğutma koşulları altındaki özellikleri. Eskişehir.
- Güleryüz, E., Özen, S., & Mardani-Aghabaglou, A. (2020). Mineral katkı kullanımının hava sürükleyici katkıli çimentolu harçların taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi. Pamukkale: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. doi:10.5505/pajes.2020.85353
- Günaydın, O., Güçlüer, K., & Arın, A. (2018). Mineral Katkılı Betonlarda Basınçlı Buhar Kürü Etkisinin Araştırılması. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Güngör, E. (2013). Karma Lifli Betonların Özelliklerinin Deneysel İrdelenmesi. Balıkesir.
- Gürkan, M. Ş. (2022, Mayıs). *Farklı Tip Harçlarla Kaplama Yapılmış Betonlarda Yüksek Sıcaklık Etkisi*.
- Hajiloo, H., Green, M., Noël, M., Bénichou, N., & Sultan, M. (2017). Fire Tests on Full-Scale FRP Reinforced Concrete Slabs.
- Han, L., Zhou, K., Tan, Q., & Song, T. (2020). Performance of Steel Reinforced Concrete Columns After Exposure to Fire: Numerical analysis and application. *Engineering Structures*.
- Hanifi Alkayış, M., & Başığit, C. (2021). Lif Katkısının Beton Darbe Dayanımına Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı. doi:10.31590/ejosat.897865
- Heijden, G., der, v., Bijnen, R., Pel, L., & Huinink, H. (2007). Moisture transport in heated concrete, as studied by NMR, and its consequences for fire spalling.

- Holan, J. N. (2020). Experimental investigation of the compressive strength of normal-strength air-entrained concrete at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 248, 118662.
- Holan, J. N. (2020). Experimental investigation of the compressive strength of normal-strength air-entrained concrete at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 248, 118662.
- Hosseinzadeh, H. S. (2023). The effects of steel, polypropylene, and high-performance macro polypropylene fibers on mechanical properties and durability of high-strength concrete. *Construction and Building M.*
- Hüsem, M., & Demir , S. (2013). Çelik Ve Polipropilen Liflerin Geleneksel Ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Kırılma Ve Çatlak Gelişimine Etkisi. 8(4). E-Journal of New World Sciences Academy.
- İnan Sezer, G., & Yazıcı, Ş. (2015). Polimer Katkılı Harçlarda Farklı Kür Koşullarının Dayanıma Etkisi. 11(2). CBÜ Fen Bil. Dergi. doi:http://dx.doi.org/10.18466/cbujos.57196
- İpek, M., Canbay, M., & Yılmaz , K. (2015). Çelik ve polipropilen liflerin yalın ve kombinasyonlu olarak kullanılmasının SİFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi. 19(1). SAÜ Fen Bil Der.
- Jafarzadeh , H., & Nematzadeh, M. (2020). Evaluation of post-heating flexural behavior of steel fiberreinforced high-strength concrete beams reinforced with FRP bars: Experimental and analytical results. *Engineering Structures*.
- Jin, L., Zhang, R., Dou, G., & X, D. (2018). Fire Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams After Low-Velocity Impact Loading. *Fire Safety Journal*.
- Karagöz, H. (2013). Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Kullanılan Mineral Katkıların Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi Yüksek Lisans Tezi Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Karakurt, C., & Varlı, M. (2019). Effect of Polymer and Polypropylene Fibers on Cement Mortar and Epoxy Resin. Afyonkarahisar: I CivilTech (International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology).
- Kaya, T., Karakurt, C., & Dumangöz, M. (2014). Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi. 1(1). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. http://edergi.bilecik.edu.tr/index.php/fbd adresinden alındı
- Kevinly, C. D. (2023). Kevinly, C., Du, P., & Tan, K. H. (2023). Local bond-slip behaviour of reinforcing bars in fibre reinforced lightweight aggregate concrete at ambient and elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 377, 131010.
- Khaliq, W. & (2011). (Khaliq, W., & Waheed, F. (2017). Mechanical response and spalling sensitivity of air entrained high-strength concrete at elevated temperatures. *Construction*

- and Building Materials, 150, 747-757.)(Khaliq, W., & Kodur, V. (2011). Thermal and mechanical pro.
- Khaliq, W. &. (2011). Thermal and mechanical properties of fiber reinforced high performance self-consolidating concrete at elevated temperatures. Cement and Concrete Research, 41(11), 1112-1122.
- Khaliq, W., & Kodur, V. (2011). Thermal and Mechanical Properties of Fiber Reinforced High Performance Self-Consolidating Concrete at Elevated Temperatures.
- Khaliq, W., & Waheed, F. (2017). Mechanical response and spalling sensitivity of air entrained high-strength concrete at elevated temperatures. Construction and Building Materials. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.039
- Kıllı, A. (2018). Kür Şartlarının Sifcon'un Mekanik Özelliklerine Etkisi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kına, C., Türk, K., Atalay, E., Dönmez, İ., & Tanyıldızı, H. (2021). Hibrit fiber takviyeli SCC'nin yeni özelliklerinin tahmininde aşırı öğrenme makinesi ve derin öğrenme modelinin karşılaştırılması. doi:10.1007/s00521-021-05836-8
- Kızıldağ, H., & Karakurt, C. (2023). Farklı Lif Katkılı SIFCON Kompozitlerin Mekanik Özellikleri. Konya: 3rd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences.
- Kızıllıgın, B. (2009). Çelik Ve Karbon Lifli Harçların Sülfat Etkilerine Dayanıklılığının İncelenmesi (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi,. İZMİR.
- Kızılırmak, C., Aydın, S., & Yardım, M. (2019). Çelik lif kanca geometrisinin yüksek dayanımlı lifli betonların statik ve darbe yükleri altında eğilme özelliklerine etkisi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. doi:10.17341/gazimmfd.570893
- Kızılırmak, C., Aydın, S., & Yardımcı, M. (2018). Çelik lif kanca geometrisinin yüksek dayanımlı lifli betonların statik ve darbe yükleri altında eğilme özelliklerine etkisi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi Universit.
- Kodur, V., & Banerji, S. (2021). Modeling the fire-induced spalling in concrete structures incorporating hydro-thermo-mechanical stresses. Cement and Concrete Composites.
- Korkut, F., Türkmenoğlu, Z. F., Taymuş, R. B., & Güler, S. (2017). Çelik Ve Sentetik Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. 6(2). Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Kozak, M. (2013). Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. 3(5). Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi.
- Kozak, M. (2022). Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları 7. Bölge Yol Müdürlüğü. Afyonkarahisar.

- Köroğlu, M. A. (2017). Mechanical Characterization of Recycled Polypropylene and Copolymer Macro Fibers in Concrete. *Machines. Technologies. Materials.*
- Krishna, A., Kaliyaperumal, S., & Kathirvel, P. (2022). Compressive strength and impact resistance of hybrid fiber reinforced concrete exposed to elevated temperatures. doi:https://doi.org/10.1002/suco.202100566
- Kurbetçi, Ş. (2022). Buhar Kürünün Uçucu Küllü Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kısa Ve Uzun Süreli Basınç Dayanımına Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi.* doi:10.21923/jesd.952420
- Kurbetçi, Ş., & Erdoğan, Ş. (2003). Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri Cilt numarası: 48 Sayı: 426. *TÜRKİYE MÜHENDİSLİK HABERLERİ*, s. 115-120.
- Kurt, G. (2006, Mayıs). Lif İçeriği Ve Su/çimento Oranının fibro betonun Mekanik Davranışına Etkileri.
- Küçük, B. (1998). Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler. *6(1)*. Pamukkale: Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Kütük Sert, T., & Kara, C. (2018). Farklı Kür Koşullarının Kolemanit İkameli Betonların Dayanımına Etkisi. *Journal of Investigations on Engineering & Technology* Volume.
- Lawler, J., Zampini, D., & Shah, S. (2005). “Microfiber and macrofiber hybrid fiber-reinforced concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering.*
- Li, B. T. (2022). The Early Age Hydration Products and Mechanical Properties of Cement Paste Containing GBFS under Steam Curing Condition. *Buildings*, 12(10), 1746.
- Li, B., Tang, Z., Huo, B., Liu, Z., Cheng, Y., Ding, B., & Zhang, P. (2022). The Early Age Hydration Products and Mechanical Properties of Cement Paste Containing GBFS under Steam Curing Condition. *Buildings*, 12(10), 1746.). (tarih yok).
- Li, L. S. (2020). A review on the recovery of fire-damaged concrete with post-fire-curing. *Construction and Building Materials*, 237, 117564.
- Li, Y. T. (2019). Synergistic effects of hybrid polypropylene and steel fibers on explosive spalling prevention of ultra-high performance concrete at elevated temperature. *Cement and Concrete Composites*, 96, 174-181.
- Liu, C., Zhou, B., Guo, X., & Wang, L. (2023). Analysis and prediction methods for the static properties of reinforced concrete beams under fire.
- Makul, N., & Agrawal, D. (2012). Comparison of the microstructure and compressive strength of Type 1 Portland cement paste between accelerated curing methods by microwave energy and autoclaving, and a saturated-lime deionized water curing method. *Journal of Ceramic Processing Research.*

- Malik, M. B. (2021). Thermal and mechanical properties of concrete and its constituents at elevated temperatures: A review. *Construction and Building Materials*, 270, 121398.
- Mehta, P., & Monteiro, P. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*. McGraw-Hill, New York.
- Memon, S. A. (2019). Durability of sustainable concrete subjected to elevated temperature—A review. *Construction and Building Materials*, 199, 435-455.
- Mindess ve Young, 2000; Shi vd., 2002. (tarih yok).
- Mindess, B. v. (1996). Bentur ve Mindess 1990; Shah1991; Li ve Maalej 1996).
- Mohamoud Nour, M. (2016). K rleme Ve Hava Şartlarının Beton Basınç Dayanımına Etkisi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Murtadha, A. (2017, Ağustos). Cam Lif Takviyeli Betonun Yangın Dayanımlarının  eŐitli Parametreler Açısından İrdelenmesi. Konya.
- Murthada, A., Arslan, M. H., & Altın, M. (2019). Cam Lif Takviyeli Betonun Yangın Dayanımlarının  eŐitli Parametreler Açısından İrdelenmesi. *Artvin  oruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve  evre Dergisi Araştırma Makalesi*. doi:10.21324/dacd.458094
- Naaman, A. (1992). *SIFCON: Tailored Properties for Structural Performance, High Performance Fiber Reinforced Cement Composites*. London.
- Nasery, M. M., Ağcakoca, E., & Yaman, Z. (2020). Lif Katkılı Betonlarda Fiber Oranının Basınç Dayanımına Etkisinin Deneysel ve Nümerik İncelenmesi. *BŐEÜ Fen Bilimleri Dergisi*. doi:10.35193/bseufbd.709099
- Orhan, M. (2018).  elik Liflerin Beton Ve Donatı Arasındaki Aderansa Etkisi. Konya.
-  z, A. (2014). Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Hibrid Lifli Betonların Bazı  zeliklerinin Araştırılması.
-  zalp, F. (2006). Ultra yüksek performanslı betonların mekanik davranışı, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 71 p.
-  zalp, F. (2016). K r Koşulları Ve Yalıtımın Yüksek Dayanımlı Betonların Geçirimsizlik, İç-yapı Ve Mekanik  zeliklerine Etkileri. <https://polen.itu.edu.tr:8443/server/api/core/bitstreams/95c84050-d44a-4efc-be72-31628844510c/content> adresinden alındı
-  zalp, F. (2023). K r Koşullarının  imento Bulamacı Emdirilmiş Lifli Betonun (SIFCON) Kırılma Enerđisi ve Geçirimsizlik  zelliklerine Etkileri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. doi:10.21597/jist.1195890

- Özalp, F., Şengül, Ö., & Taşdemir, M. (2015). Kür Koşulları ve Tecrit Malzemesinin Betonun Geçirirlik ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.
- Özbay, E. (2016). Lif Türünün Betonların Yük-Deplasman Davranışı ve Donma-Çözülme Direncine Etkisi. 31(1). Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- Özbey, S. (2009). Farklı Çimento Tipleri ile Üretilen Betonların Yüksek Sıcaklık ve Değişik Soğutma Koşulları Altındaki Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.
- Özcan, F., & Akçaözoğlu, K. (2018). Hava Sürüklenmiş Betonların Isıl İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi. 7(2). Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. doi:10.28948/ngumuh.444752
- Özdemir, M. (2006). Kayaç Mukavemetinin Beton Dayanımına Etkileri . Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Öztürk, O., Öner, A., Temiz, T., & Çetintaş, K. (2022). GFRP ile Güçlendirilen Yangına Maruz Kalmış Betonların Basınç Davranışının İncelenmesi. 8(2). Disaster Science And Engineering.
- Özyurt, N., Taşdemir, M., & Shah, S. (2006). Lif donatılı çimento esaslı kompozitlerde, lif dağılımının elektriksel bir yöntem ile tahribatsız ölçümü. 5(4). İstanbul: itüdergisi.
- Palou, M., Kuzielova, E., Zemlicka, M., Bohac, M., & Novotny, R. (2016). The Effect of Curing Temperature on the Hydration of Binary Portland Cement, J Therm Anal Calorim., doi:10.1007/s10973-016-5395-9
- Palou, M., Zivica, V., Bagel, L., & Ifka, T. (2012). Influence of hydrothermal curing on g-oil well cement properties. Building Research Journal.
- Pasztetnik, M., & Wróblewski, R. (2021). A literature review of concrete ability to sustain strength after fire exposure based on the heat accumulation factor. Materials, 14(16), 4719.).
- Pekdemir, N. R. (2020). Polipropilen Lif Oranının Betonun Eğilmede Çekme Ve Basınç Dayanımına Etkisi. Gümüşhane.
- Qureshi, L., & Ahmed, A. (2013). An investigation on strength properties of glass fiber reinforced concrete. International Journal of Engineering Research and Technology.
- Rehman, A., Masood , A., Akhtar, S., Ibrahim, S., & Shariq , M. (2021). Experimental and numerical investigation into flexural bond strength of RC beams exposed to elevated temperature. Construction and Building Materials.
- Ríos, C. A. (2009). Hydrothermal synthesis of hydrogarnet and tobermorite at 175 C from kaolinite and metakaolinite in the CaO–Al₂O₃–SiO₂–H₂O system: A comparative study. Applied Clay Science, 43(2), 228-237.

- Ríos, C., Williams, C., & Fullen, M. (2009). Nucleation and Growth History of Zeolite LTA Synthesized from Kaolinite by Two Different Methods.
- Saif, M. S. (2023). Saif, M. S. Influence of blended powders on properties of ultra-high strength fibre reinforced self compacting concrete subjected to elevated temperat.
- Salami, E. (2009). Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi.
- Sancak, E., & Şimşek, O. (2006). Yüksek sıcaklıktaki silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkılı hafif beton etkileri. 21(3), 443-450.
- Sarı, M. (2013, Ekim). Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi. <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/6698/1/14094.pdf> adresinden alındı
- Sarı, M. (2013). Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi.
- Sarı, M. (2013). Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi .
- Seçer, O. (2008). Yüksek sıcaklık etkisinden hasar görmüş lifli, hava sürükleyici katkılı ve perlit agregalı betonların dayanım özellikleri ve GFRP ile onarımı ve güçlendirilmesi.
- Shah, A., & Sharma , U. (2017). Fire Resistance and Spalling Performance of Confined Concrete Columns. Construction and Building Materials.
- Shah, S. N. R., Akashah, F. W., & Shafigh, P. (2019). Performance of high strength concrete subjected to elevated temperatures: a review. Fire Technology, 55, 1571-1597.)(Derinpınar, A. N., Karakoç, M. B., & Özcan, A. (2022). Performance of glass powder s. (tarih yok).
- Shah, S., & Balaguru, P. (1992). Fiber-Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill Inc. Singapore.
- Shen , L., Jiang , M., Luzio, G., Yao , X., & Han, Y. (2023). Mix optimization of hybrid steel and polypropylene fiber-reinforced concrete for anti-thermal spalling. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105409>
- Shen, D., Jiang, J., Shen, J., Yao, P., & Jiang, G. (2016). Influence of Curing Temperature on Autogenous Shrinkage and Cracking Resistance of High-Performance Concrete at an Early Age. Construction and Building Materials. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.11.039
- Shen, L., Yao, X., Di Luzio, G., Jiang, M., & Han, Y. (2023). Mix optimization of hybrid steel and polypropylene fiber-reinforced concrete for anti-thermal spalling. Journal of Building Engineering, 63, 105409. (tarih yok).
- Shi, C., Wu, Y., S. Y., & Riefler, M. (2002). Comparison of Two Design Approaches for Self-Consolidating Concrete.

- Soykan, O., & Özel, C. (2014). Polimer Betonlarda Kür Süresinin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklere Etkisi. 35(2). Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD).
- Szeląg, M. (2019). Evaluation of cracking patterns of cement paste containing polypropylene fibers. Composite Structures, 220, 402-411. (tarih yok).
- Szeląg, M. (2019). Evaluation of cracking patterns of cement paste containing polypropylene fibers. Composite Structures, 220, 402-411.
- Şah, S., Akashah, F., & Shafigh, P. (2019). Performance of high strength concrete subjected to elevated temperatures: a review. Fire Technology, 55, 1571-1597. 55(5), 1571-1597. doi:10.1007/s10694-018-0791-2
- Şahin, M. (2011). Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Çelik Tel Takviyeli-Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Dirençleri. Yozgat.
- Şahin, Y. (2013). Hava Sürükleyici Katkıların Karakterizasyonu ve Deney Koşullarının Betonun Donma-çözülme Hasarına Etkisi.
- Şengün, E. (2023). Farklı kimyasal katkıların mineral katkılı taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkisi. Journal Of Polytechnic.
- Şimşek, O. (tarih yok). Beton dan beklenen özellikler ve bu özelliklere etki eden faktörler. https://eski.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/89964f44cc2f329_ek.pdf?tipi=79&turu=X&sube=3 adresinden alındı
- Şimşek, O., Toklu, K., & Ünal, M. T. (2021). Çelik liflerin geometrik şeklinin ve oranının beton özelliklerine etkisinin araştırılması. Politeknik Dergisi Journal Of Polytechnic. <http://dergipark.org.tr/politeknik> adresinden alındı
- Taştan, H. (2022). Yangına Maruz Kalan Betonarme Yapısal Elemanların Davranışlarının DeneySEL Olarak İncelenmesi. Bartın: Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Tawfik, M. E.-s. (2022). Mechanical properties of hybrid steel-polypropylene fiber reinforced high strength concrete exposed to various temperatures. Fibers, 10(6), 53.
- Tekdemir, F. (2007). Çelik Lif Katkılı Betonlara Sıcaklık Etkisi.
- Tekeli, İ. E. (2019). Mikrofiber Donatıların Beton İle Donatı Arasındaki Aderansa Ve Beton Basınç Dayanımına Etkileri. Konya: Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Teker, S. (2012, Ocak). Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi.
- Toklu, K., Avşar, Y., Cihan, M., & Bıçakçı, E. (2022). Cam Lifi Uzunluğu ve Oranının Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi. 14(1). Tekirdağ: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi.

- TOKYAY, M. (1995). Çeşitli Basınç Dayanım Formüllerinin Yüksek Akışkanlaştırıcı Ve Mineral Katkı İçeren Betonlara Uygulanabilirliği Odtü Ankara.
- Topal, Ö. K. (2022). Effects of elevated temperatures on the properties of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) based geopolymer concretes containing recycled concrete aggregate. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(10), 4847-4862.
- Topsakal, A., & Özel, C. (2018). Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerde Lif Türü ve Oranının Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi. 5. Isparta: El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi.
- Turuallo, G., & Soutsos, M. (2015). Supplementary Cementitious Materials: Strength Development of Self-compacting Concrete Under Different Curing Temperature. *Procedia Engineering*. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.109
- Tülay, U., & Güleç, A. (2008). Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri.
- Türk, K., & Kına, C. (2016). Çimento esaslı kompozitlerde karma lif kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi:doi: 10.5505/pajes.2016.17047
- TÜRKEL, S., & FELEKOĞLU, B. (2004). Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 77-89.
- Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., & Hasgöl, U. (2016). Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İçeren Kirişlerde Etkin Çelik Lif Tipi İncelemesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi:10.5578/fmbd.39342
- Uğur, T., & Gülaç, A. (2016). Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri.
- Uysal, A. (2004). “Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Van Der Heijden, G. H. (2007). Moisture transport in heated concrete, as studied by NMR, and its consequences for fire spalling. *Cement and concrete research*, 37(6), 894-901.
- Verbeck, G., & Helmuth, R. (1968). Structures and physical properties of cement paste. Tokyo.
- Wang, Q., Li, M., & Zhang, B. (2014). Influence of Pre-curing Time on the Hydration of Binder and the Properties of Concrete Under Steam Curing Condition. *J Therm Anal Calorim*. doi:10.1007/s10973-014-4053-3
- Wdowin, M., Franus, M., & Panek, R. (2014). The conversion technology of fly ash into zeolites.
- Wiley, J., Sons, I., & Gerweck, B. (1993). Construction of Prestressed Concrete Structures. 2. New York.

- Wu, H. L. (2020). A review of mechanical properties of fibre reinforced concrete at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 135, 106117.
- Wu, H., Lin, X., & Zhou, A. (2020). Yüksek sıcaklıklarda fiber takviyeli betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi.
- Xiao, J., Xie, Q., & Xie, W. (2018). Study on high-performance concrete at high temperatures in China. *Fire Safety Journal*.
- Xie, J. Z. (2018). Coupling effects of silica fume and steel-fiber on the compressive behaviour of recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 184, 752-764.).
- Xie, J., Zhang, Z., Lu, Z., & Sun, M. (2018). Coupling effects of silica fume and steel-fiber on the compressive behaviour of recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperature. *184*, 752-764.
- Xu, H., Yu , M., Xue, C., Xu, L., & Ye, J. (2020). Experimental Study on Fire Resistance of Precast Concrete Columns with Efficient Reinforcement. *Engineering Structures*.
- Yağmur, E. (2020). Elastic modulus prediction for fiber-reinforced concretes. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi:10.5505/pajes.2019.34017
- Yalçın, M. (2009). Çelik lif donatılı betonların performansa dayalı tasarımı ve optimizasyonu. İstanbul.
- Yalçınkaya, Ç. (2009). Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite Ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. İzmir.
- Yang, Y., Feng , S., Xue, Y., Yu, Y., Wang, H., & Chen, Y. (2019). Experimental Study on Shear Behavior of Fire-damaged Reinforced Concrete T-Beams Retrofitted with Prestressed Steel Straps. *Construction and Building Materials*.
- Yazıcı, Ş., & İnan Sezer, G. (2016). Farklı Kür Yöntemlerinin Uçucu Kül İçeren Harçların Eğilme ve Basınç Dayanımına Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi:10.5505/pajes.2015.46547
- Yıldırım, S. (2020). Farklı Sıcaklıklardaki Su Kürünün Harç Numuneleri Üzerine Etkisi. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, E., Nazlıkol, D., & Özcan, I. (2019). Ortam Şartlarının Beton Dayanımına Etkisi. *Article Makale*.
- Yılmaz, E., Nazlıkoy, D., & Özcan, I. (2021). Ortam Şartlarının Beton Dayanımına Etkisi . *Article Makale*.
- Yuan, Z. &. (2021). Mechanical properties and microstructure of glass fiber and polypropylene fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 266, 121048.

- Yurt, Ü., & Emiroğlu, M. (2020). Zeolit İkameli Geopolimer Betonlarda Kür Şartlarının Etkileri. Academic Platform Journal of Engineering and Science.
- Yüce, İ. (2015). Kıl Kökenli Lüks Lifleri Ayırt Etme Yöntemleri.
- Zhang, H., Li Q.Y., Kodur, V., & Lv, H. (2021). Effect of cracking and residual deformation on behavior of concrete beams with different scales under fire exposure. Engineering Structures.
- Zhang, P., Ding, B., Cheng, Y., Li, B., Tang, Z., Huo, B., & Liu, Z. (2022). The Early Age Hydration Products and Mechanical Properties of Cement Paste Containing GBFS under Steam Curing Condition.
- Zhang, P., Kang, L., Wang, J., Guo, J., Hu, S., & Ling, Y. (2020). Mechanical Properties and Explosive Spalling Behavior of Steel-Fiber-Reinforced Concrete Exposed to High Temperature—A Review. doi:https://doi.org/10.3390/app10072324
- Zhang, W. M. (2015). Mesoscale model for thermal conductivity of concrete. Construction and Building Materials, 98, 8-16.
- Zhang, Y. J. (2020). A novel multi-scale model for predicting the thermal damage of hybrid fiber-reinforced concrete. International Journal of Damage Mechanics, 29(1), 19-44.
- Zhang, Y. Z. (2023). Uniaxial tensile properties of multi-scale fiber reinforced rubberized concrete after exposure to elevated temperatures. Journal of Cleaner Production, 389, 136068.
- Zheng, W. L. (2012). Compressive behaviour of hybrid fiber-reinforced reactive powder concrete after high temperature. Materials & Design, 41, 403-409.
- Zhou, W. M. (2023). Impact of elevated temperatures on the mechanical properties and microstructure of waste rubber powder modified polypropylene fiber reinforced concrete. Construction and Building Materials, 392, 131982.
- Zollo, R. (1997). Fibre-reinforced Concrete: an Overview after 30 years of Development, Cement and Concrete Composites.
- Anonim, https://www.bingol.edu.tr/documents/1_%20HAFTA_.pdf [Erişim Tarihi: 18 Ocak 2024].
- Anonim, <https://docplayer.biz.tr/13415553-Beton-katki-maddeleri-sakarya-universitesi.html> [Erişim Tarihi: 18 Ocak 2024].
- Anonim, <https://docplayer.biz.tr/105021890-Bolum-2-hava-surukleyici-katki-maddeleri-kimyasal-katkilar-hava-suruklenmis-beton-tanimi-hava-katki-maddesinin-tanimi.html> [Erişim Tarihi: 18 Ocak 2024].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed Yusuf GÖZKESER
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

EĞİTİM

İŞ DENEYİMLERİ

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

YAYINLAR