

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPAY HAFİF AGREGALI ÇELİK LİF TAKVİYELİ YÜKSEK
DAYANIMLI ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN RÖTRE
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

İsmail GÜNEŞ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAPAY HAFİF AGREGALI ÇELİK LİF TAKVİYELİ YÜKSEK
DAYANIMLI ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN RÖTRE
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

İsmail GÜNEŞ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ' ın danışmanlığında, İsmail GÜNEŞ' in hazırladığı **“Yapay Hafif Agregalı Çelik Lif Takviyeli Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozitlerin Rötire Davranışının İncelenmesi”** konulu bu çalışma 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman :Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ

Üye :Prof. Dr. Murat PALA

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALGIN

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Tezin Yapısı	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
2.1. Lifli ve Mineral Katkılı Kompozitlerin Özellikleri	6
2.2. Mikrosilika ve Çelik Lif Katkılı Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışları	9
2.2.1. Çelik lif	9
2.2.2. Mikrosilika	12
2.3. Hafif Beton ve Özellikleri	14
2.4. Yüksek Performanslı Beton	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. Malzemeler	20
3.1.1. Çimento	20
3.1.2. Agrega	21
3.1.3. Mikrosilika	26
3.1.4. Kimyasal katkı	26
3.1.5. Çelik lif	26
3.2. Karışımlar ve Numuneler	27
3.2.1. Karışım tasarımı	27
3.2.2. Deney numuneleri	28
3.3. Deney Yöntemleri	29
3.3.1. Yayılma deneyi	29
3.3.2. Basınç dayanımı	31
3.3.3. Eğilme dayanımı	31
3.3.4. Kılcal ve toplam su emme	32
3.3.5. Rötire	33
3.3.6. Elastisite modülü	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	37
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPAY HAFİF AGREGALI ÇELİK LİF TAKVİYELİ YÜKSEK DAYANIMLI ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN RÖTRE DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İsmail GÜNEŞ

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ

Yıl: 2019, Sayfa: 59

Bu tez çalışmasında, çelik elyaf, peletlenmiş uçucu kül hafif agreagası ve mikrosilika içeriğinin yüksek performanslı çimento esaslı kompozitin (YÇEK) taze ve sertleştirilmiş özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 6 mm uzunluğa sahip olan mikro çelik elyaflar, toplam hacmin %0, %1 ve %2 oranında karışımlara eklenmiştir. Ayrıca peletleme yöntemiyle üretilen yapay hafif agregada da toplam agregada hacminin %0 ve %20 oranlarında kullanılmıştır. Mikrosilika oranı olarak toplam bağlayıcının %0 ve %25'i karışım tasarımında kullanılmıştır. Böylece toplam 12 farklı YÇEK karışımları elde edilmiştir. YÇEK tasarımı için su/bağlayıcı oranı 0,2 olarak belirlenmiştir. Karışımlara uygun bir akıcılık kazandırmak için yüksek oranlı su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Üretilen YÇEK'lerin mekanik özellikleri basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve elastisite modülü açısından değerlendirilmiştir. Bunların yanı sıra boşluk yapısı ve geçirimsizliği değerlendirmek için toplam su emme ve kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. YÇEK'lerin 60 günlük kuruma periyodunda kuruma ve otojen rötre değerleri belirlenerek elyaf oranı, mikrosilika katkısı ve yapay hafif agregada içeriğinin etkisi irdelenmiştir. Deney sonuçları, çelik lif oranının artmasıyla YÇEK'in mekanik özelliklerinin ve rötre davranışının iyileştiğini göstermiştir. Ayrıca yapay hafif agreganın olumsuz etkilerinin mikrosilika katkısı ile ortadan kaldırılabilceği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Yapay hafif agregada, çelik lif, yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozit, rötre, betonun mekanik özellikleri.

SUMMARY

MSc Thesis

INVESTIGATING SHRINKAGE BEHAVIOUR OF HIGH STRENGTH STEEL FIBER REINFORCED CEMENT BASED COMPOSITES WITH ARTIFICIAL LIGHTWEIGHT AGGREGATE

İsmail GÜNEŞ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ

Year: 2019, Page: 59

In this thesis, the effects of micro-steel fiber, pelletized fly ash lightweight aggregate and microsilica content on the fresh and hardened properties of high-performance cementitious composite (HPCC) were investigated. Micro-steel fibers having a length of 6 mm were added to the mixtures at 0%, 1% and 2% of the total volume. In addition, artificial lightweight aggregate produced by pelletizing method was used in 0% and 20% of total aggregate volume. 0% and 25% of the total binder were used in the mixture design as microsilica ratio. Thus, a total of 12 different HPCC mixtures were obtained. The water/binder ratio for the HPCC design is 0,2 . A high-rate water-reducing chemical admixture is used to give a suitable flow for the fresh mixtures. The mechanical properties of the produced HPCCs are evaluated in terms of compressive strength, flexural tensile strength and modulus of elasticity. In addition to these, total water absorption and capillary water absorption tests were performed to evaluate the pore structure and permeability. The drying and autogenous shrinkage values were determined in the drying period of 60 days. Thus, the effect of fiber content, microsilica addition and artificial lightweight aggregate content were globally examined. The results of the experiment showed that the mechanical properties of HPCC and shrinkage behaviour improved with the increase of the ratio of steel fiber. In addition, the negative effects of artificial lightweight aggregate can be eliminated by microsilica.

KEYWORDS: Artificial lightweight aggregate, steel fiber, high performance cement based composite, shrinkage, mechanical properties of concrete.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi, Doç.Dr. Kasım MERMERDAŞ' ın danışmanlığında tamamlanmıştır. Çalışmadaki emeği ve katkılarının yanında şahsıma olan güvenini ve sabrını her zaman hissettiren danışmanım Doç.Dr. Kasım MERMERDAŞ' a, değerli hocam, Dr.Öğr.Üyesi Zeynep ALGIN'a, çalışmada kullanılan yapay hafif agregaların üretimindeki yardımlarından dolayı Dr.Öğr.Üyesi Süleyman İPEK'e, çalışmalarındaki ilgi ve yardımları dolayısıyla Arş.Gör. Şevin EKMEN' e, deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımları dolayısıyla İnşaat Mühendisi Mehmet Celal CAN' a, Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesinde görev yapmakta olan Peyzaj Mimarı Ahmet BÜRMEK ve Ziraat Mühendisi İsmail Hakkı ÜRÜN'e, HRÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı sorumlusu Teknisyen İbrahim ESİN'e, anneme, babama ve son olarak gösterdiği sevgi ve destek için eşim Rahime Şeyda GÜNEŞ'e

teşekkür ederim.

İsmail GÜNEŞ

Haziran 2019

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Çimento fiziksel ve kimyasal özellikleri	20
Çizelge 3.2. Dere kumuna ait fiziksel özellikler ve elek analizi sonuçları	21
Çizelge 3.3. Normal ve hafif ağırlıklı agregaların elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri.....	23
Çizelge 3.4. Mikrosilika' ya ait kimyasal özellikler.....	26
Çizelge 3.5. Mikrosilika' ya ait fiziksel ve mekanik özellikler	26
Çizelge 3.6. Numune karışım miktarları (kg/m ³)	27
Çizelge 3.7. Yayılma tablası deneyi sonuçları (cm)	30
Çizelge 4.1. Basınç dayanımı sonuçları	37
Çizelge 4.2. Eğilme dayanımı sonuçları.....	39
Çizelge 4.3. Kılcal su geçirimsizliği sonuçları	42
Çizelge 4.4. Toplam su emme sonuçları	44



ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. (a) Dört noktalı yükleme deneyi, (b) Deneysel parametrelerin belirlenmesi [Gödek ve ark., 2016].....	6
Şekil 2.2. Çekme gerilmesi altında; yalın betonun (a), lifli betonun (b) ve mühendislik özellikleri geliştirilmiş çimento esaslı kompozitlerin (c) davranışı [Gödek ve ark., 2016]	7
Şekil 2.3. Karbonatlaşma meydana gelen harç numuneleri [Özcan ve Atış, 2017].....	7
Şekil 2.4. Hacimsel otojen rötre ölçüm sistemi [Pekmezci ve ark., 2007]	8
Şekil 2.5. Basınç ve yarmada çekme deneyleri [Hüsem ve Demir, 2013]	10
Şekil 2.6. Beton içinde en çok kullanılan yapay agregalar ve doğal pomza agregası [Yolcu ve Girgin, 2017].....	15
Şekil 2.7. Şematik yükleme ve ölçüm düzeneği [Türker ve ark., 2016].....	18
Şekil 2.8. Çimento hamurunda silis dumanının doldurma etkisi [Taşdemir ve Bayramov, 2002]	19
Şekil 3.1. Dere kumu.....	21
Şekil 3.2. Kuvars tozu	22
Şekil 3.3. Kuvars kumu	22
Şekil 3.4. a) Peletleme diskinin genel görüntüsü ve b) Peletleme diskinin özellikleri	24
Şekil 3.5. Sıkışmış ve sert küresel uçucu kül peletleri	24
Şekil 3.6. Sert küresel uçucu kül peletlerinin kırılması için kullanılan kırıcı	25
Şekil 3.7. Kırılmış ve elenmiş sert küresel uçucu kül taneleri.....	25
Şekil 3.8. Harç karışımlarında kullanılan mikro çelik lif	27
Şekil 3.9. Harç karışımlarında kullanılan mikser	28
Şekil 3.10. Numunelere su kürü uygulanması	29
Şekil 3.11. Yayılma deney düzeneği	30
Şekil 3.12. Basınç dayanımı deneyi	31
Şekil 3.13. Eğilme dayanımı deneyi.....	32
Şekil 3.14. Eğilme dayanımı deneyinin şematik gösterimi	32
Şekil 3.15. Numunelerin etüvde kurutulma işlemi	33
Şekil 3.16. Kılcal su emme deneyi	33
Şekil 3.17. Kuruma ve otojen rötre numuneleri	34
Şekil 3.18. Rötre ölçüm cihazı	34
Şekil 4.1. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.2. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	40
Şekil 4.3. Basınç ve çekme dayanımı değerleri arasındaki korelasyon	41
Şekil 4.4. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük kılcallık katsayılarının karşılaştırılması	43
Şekil 4.5. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük su emme değerlerinin karşılaştırılması	45
Şekil 4.6. Su emme ve kılcallık katsayısı değerleri arasındaki korelasyon	46
Şekil 4.7. Tasarım kodlarında yer alan bağıntılara göre YÇEK'lerin elastisite modülü değerleri	47
Şekil 4.8. Yapay agrega ve mikrosilika bulundurmayan YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötresi değerlerinin zamana göre değişimleri.....	48
Şekil 4.9. Yapay agrega bulundurmayan ve %25 mikrosilika içeren YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötresi değerlerinin zamana göre değişimleri.....	49
Şekil 4.10. Yapay agrega içeren fakat mikrosilika bulunmayan YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötresi değerlerinin zamana göre değişimleri.....	50
Şekil 4.11. Yapay agrega içeren ve %25 mikrosilika bulunan YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötresi değerlerinin zamana göre değişimleri.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	Amerikan Standart Test Metodu
CEB-FIP	Uluslararası Yapısal Beton Federasyonu
CEM I	Portland Çimentosu
DKum	Dere Kumu
E_c	Elastisite Modülü
EC2	Eurocode 2
ECC	Engineered cementitious composite
f_c	Basınç Dayanımı
f_{ck}	Karakteristik Basınç Dayanımı
f_t	Çekme Dayanımı
GKA	Genleştirilmiş Kil Agregası
GPa	Gigapascal
K	Kılcallık Katsayısı
MPa	Megapascal
MS	Mikrosilika
R	Korelasyon Katsayısı
S	Su Emme
SA	Süper akışkanlaştırıcı
SB	Serbest Boy
UYPLB	Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton
YÇEK	Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozit
YFC	Yüksek Fırın Cürufu

1.GİRİŞ

1.1.Genel

İnşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton 150 yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır. Çok geniş bir kullanım alanına sahip olan betonun taze ve sertleşmiş durumlarda beklenen performans özelliklerini iyileştirmek için çok yoğun çalışmalar yapılmıştır. Ancak günümüz imkânları ile geliştirilen yeni ürünler yapı teknolojisi araştırmalarında betona alternatif malzeme üretimine olanak sağlamamıştır. SIFCON, polimer betonlar, tasarlanmış çimento esaslı kompozitler (Engineered cementitious composite, ECC) gibi malzemeler bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitlerin (YÇEK) günümüz betonarme imalatlarında kullanılabileceği düşüncesi ve literatürde sunulan deneysel çalışmaların da olumlu sonuçları genel olarak bu düşüncüyü destekler nitelikte olduğundan daha doğru ve kapsamlı sonuçlara ulaşılması için ileri düzey araştırma yapılması gerektiği ifade edilmektedir (Türker ve ark., 2016). Betonarme imalatların dayanım ve dayanıklılık gibi özelliklerinin yanı sıra ekonomi, estetik ve işlevsellik parametrelerinin de günümüzde önem arz etmesi sebebiyle betonun hemen kullanım ve servis ömrü gibi özelliklerinin iyileştirilmesi istenilmektedir. Saha betonları, köprü bağlantı elemanları, alt yapı elemanları gibi ağır çevre ve yük şartlarına maruz kalan betonların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi adına birim hacim ağırlığı azaltılmış lif takviyeli yüksek dayanıma sahip beton üretimi ihtiyacı bulunmaktadır. Bu sebeple çevresel koşullara karşı dirençli, birim hacim ağırlığı azaltılmış yüksek dayanımlı beton üretilmesi ve bu üretimler sırasında karşılaşılabilecek problem ve çözümleri belirlenmelidir.

YÇEK üretimi ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda betonun iyi olarak bilinen özelliklerinin yanı sıra zayıf olarak bilinen özelliklerinin de iyileştirilebileceği görülmektedir. YÇEK'lerin yüksek basınç dayanımı ve oldukça fazla sünek davranış göstermesinin yanında çekme dayanımının da yüksek değerlere sahip olduğu yapılan

deneysel çalışmalar sonucunda görülmektedir. Bu şekilde yapılarda bulunan ölü yükler ve deprem yükleri gibi olumsuz etkilerin minimize edilmesi ve bu problemlerin çözülmesi adına önemli bir adım atılması sağlanmaktadır (Türker ve ark., 2016; Taşdemir ve Bayramov, 2002).

YÇEK üretimi sırasında çelik lif kullanımı ile birlikte kompozitin, mekanik özelliklerinin daha fazla iyileştirilebileceği düşüncesi ile birlikte yapılan çalışmalar olumlu sonuç vermekte olup kompozitin basınç ve eğilme dayanımlarının yanında süneklik özelliğinde de olumlu gelişmeler tespit edilmektedir (Çağatay, 2007). Çelik lif kullanılarak yapılan YÇEK üretimlerinde çatlak oluşumunun incelenmesi üzerine yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere istenmeyen durumlardan olan mikro çatlak oluşumunda azalmalar görülmektedir (Hüsem ve Demir, 2013).

YÇEK' lerin üretimi ve olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmaların bazılarında biri olan birim hacim ağırlığı azaltılmış YÇEK üretilmek istenmektedir. Betonun birim hacim ağırlığının azaltılması ile üretilen betonlara hafif ya da yarı hafif beton denilmektedir. Hafif beton üretiminde birim hacim ağırlığının azaltılması istenilmesinin yanında betonun mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple birim hacim ağırlığı azaltılmış beton üretiminde kullanılmak üzere hafif agrega sınıfında bulunan agrega tipinin seçimi önem arz etmektedir. Hafif agrega iki şekilde temin edilebilmektedir. Hafif agregalar, doğadan hazır olarak elde edildiği takdirde doğal hafif agrega, bazı kimyasal ve fiziksel uygulamaların sonucunda elde edilmesi halinde ise yapay hafif agrega olarak isimlendirilmektedir (Baradan ve ark. 2015). Ekonomi ve temin imkânları ile ilgili olarak tercih durumları değişebilmektedir. Yapılan çalışmalar ve teknolojik gelişmelerin desteği ile hafif betonların tasarım özellikleri geliştirilerek taşıyıcı hafif beton üretimi yapılabilmesi mümkün olabilir (Yolcu ve Girgin, 2017).

YÇEK üretiminde çelik lif kullanımı ile ilgili yukarıda da bahsedildiği üzere çeşitli deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Deneysel çalışmalarda hedeflendiği üzere çelik lif kullanımı ile birlikte betonun basınç, eğilme dayanımlarının yanında süneklik özelliğinin de iyileştiği ve bu özelliklerin iyileştirilmesi ile yüksek

dayanıma sahip yapısal eleman üretimi sağlanabilmektedir. Çelik lif katkısı ile üretilen yapısal elemanlarda deprem yüklerine karşı direnç artmakta olup deprem gibi yapıyı olumsuz olarak etkileyebilecek durumlarda oluşan deformasyon miktarı oldukça azalmaktadır (Gençel ve ark., 2007; Dinçer ve Çağatay, 2004; Demirel ve Yazıcıoğlu, 2007; Şimşek ve ark., 2005; Altun ve Aktaş, 2011; Kozak, 2013; Tokgöz ve Dündar, 2015; Türkel ve Yiğiter, 2004).

Yapılacak olan YÇEK üretimlerinde kullanılmak üzere etkin çelik lif tipi konusu hakkında bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan çelik lif tipine göre betonun mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğinin yanında etkin lif tipi ve miktarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Alınan sonuçlara göre düz formdaki çelik liflerin kullanılması ile üretilen betonlarda diğer tiplerin kullanımına göre daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Genel olarak lif katkısı ile üretilen betonların tamamında mekanik özelliklerin, normal betonlara göre daha fazla iyileşme gösterdiği tespit edilmektedir (Türker ve ark., 2016).

Beton üretiminde oluşması istenmeyen ve minimize edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılan rötre çatlaklarının YÇEK' lerde de oluşmasının engellenmesi ve yine minimize edilmesi hakkında araştırmalar yapılmaktadır. Rötre, ötojen rötre ve kuruma rötresi olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır (Baradan ve ark. 2015). Mineral katkı kullanılması ile rötre çatlaklarının azaltılması hedeflenen çalışmalarda, su/bağlayıcı oranının azaldığı durumlarda mineral katkı ile rötre çatlaklarının azaldığı görülmektedir (Gödek ve ark., 2016; Özcan ve Atış, 2017). Yapılan gözlemlerin bazılarında ötojen rötre oluşumunun arttığı aralığın, hidrasyon ısısının en yüksek olduğu aralığa denk geldiği tespit edilmiştir (Pekmezci ve ark., 2007). Betonda oluşan rötre çatlaklarının azaltılması ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda betona lif takviyesi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre lif katkısı ile birlikte betonda oluşan rötre çatlakları büyük oranda azalma göstermiştir (Esen, 2003).

Bu tez çalışmasında yukarıda özetlenen literatür araştırmasının ışığında, yüksek dayanımlı çelik lif takviyeli YÇEK' lerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve rötre davranışının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Kullanılacak yapay hafif

agreganın içsel kütleme sağlayacağı öngörülerek rötre davranışında iyileşme beklentisinin yanı sıra söz konusu agreganın doğal agregaya göre daha düşük sertlik değerine sahip olmasından dolayı oluşan dezavantajın ortadan kalkıp kalkmadığı incelenecektir. Çelik lif kullanımının mekanik özellikler üzerindeki etkisi ile rötre davranışını belirleyen mikro-deformasyon okumaları dikkate alınarak en uygun karışımın belirlenmesi amaçlanmaktadır.



1.2. Tezin Yapısı

Yapılan deneysel çalışma ile ilgili hazırlanan bölümlerin kapsamı ve içeriği hakkında aşağıda belirtildiği üzere düzenleme yapılmıştır.

Bölüm 1

Bu bölümde tez çalışmasının yapılmasının gerekliliği, araştırılmak istenen YÇEK' ler ile ilgili yapılmış çalışmaların sonuçları, araştırma konusunun kapsamı ve araştırmaya yönlendirmeyi sağlayan ön bilgilere yer verilmiştir.

Bölüm 2

Deneysel çalışma yapılmak istenen yapay hafif agregalı çelik lif takviyeli yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitler hakkında öncesinde yapılmış olan çalışmalardan bahsedilmektedir. Bu kısım ile ilgili yapılan araştırmalar ve alınan sonuçların dikkate alınması ile birlikte yapılacak olan çalışmanın daha doğru bir şekilde ilerlenmesi sağlanması amaçlanmaktadır.

Bölüm 3

Bu kısımda deneysel çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelere ait özellikler ve deney yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca karışım oranlarının nasıl belirlendiğinden bahsedilmiştir.

Bölüm 4

Standartlara uygun şekilde yapılan deneylere ait sonuçlarının incelendiği bu bölümde sonuçlara ilgili grafiklerle birlikte yer verilmektedir. Literatür kısmındaki veriler ile karşılaştırma ve tartışmalara yer verilmiştir.

Bölüm 5

Bu bölüm, elde edilen deney sonuçları ve yapılan tartışmaların ardından deneysel çalışmanın net sonuçlarının özet şekilde aktarıldığı ve ulaşılan sonuçlar ve sonraki yapılabilecek araştırmalar için bazı önerileri içeren kısımdır.

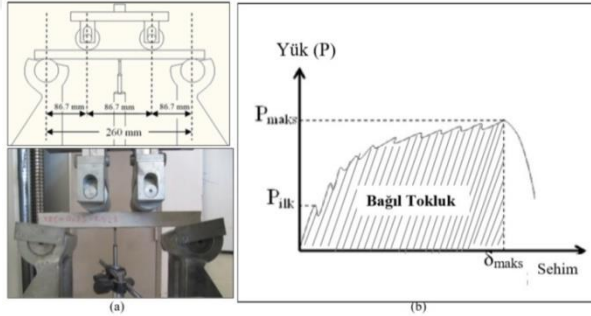
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, yüksek performanslı betonların ve kompozitlerin üretiminde kullanılan malzemeler ve bunların performans özellikleri ile ilgili yapılmış çalışmalar irdelenmiş ve derlenen araştırma sonuçları özetlenmiştir. Bu amaçla, mevcut literatürde bulunan tezler, makaleler, bilimsel toplantılarda sunulan bildiriler ve kitaplar incelenmiştir.

2.1. Lifli ve Mineral Katkılı Kompozitlerin Özellikleri

Lifli yapı malzemelerinin çeşitli özellikleri ile ilgili yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

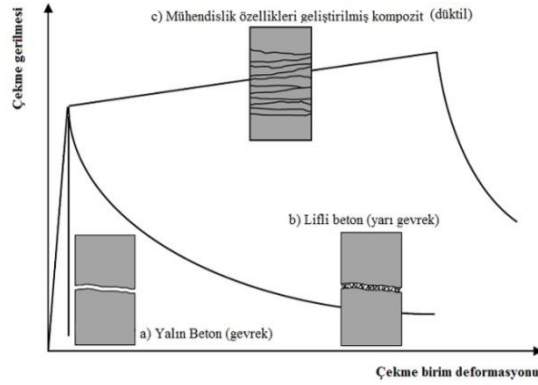
Çimento esaslı kompozitlerin üretiminde kullanılan mineral katkı ve s/ç oranının eğilme dayanımına etkisini araştıran Gödek ve ark. (2016), 3 farklı mineral katkı tipi ve 3 adet s/ç oranı ile çalışma yapılmıştır. Toplamda 54 adet numune hazırlayarak 28 gün sonra 4 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır.(Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. (a) Dört noktalı yükleme deneyi, (b) Deneysel parametrelerin belirlenmesi [Gödek ve ark., 2016]

Orta nokta eğilme değeri en yüksek olan numune su miktarının en yüksek olan numuneler olurken, en yüksek eğilme dayanımı değerini veren numune ise en düşük su miktarına sahip olan numunedir. Çimento esaslı kompozitlerin üretiminde kullanılan mineral katkı türü ve miktarı mekanik özellikleri önemli oranda etkilemiştir. Yüksek fırın cürufu kullanılan numunelerde betonun mekanik özelliklerinde önemli oranda iyileşme görülmüştür. Çalışma sonucunda mikro çatlak miktarının genel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Yalın beton gevrek, lifli beton yarı

gevrek ve mühendislik özellikleri geliştirilmiş kompozitlerin sünek davranış gösterdikleri görülmüştür (Şekil 2.2.).



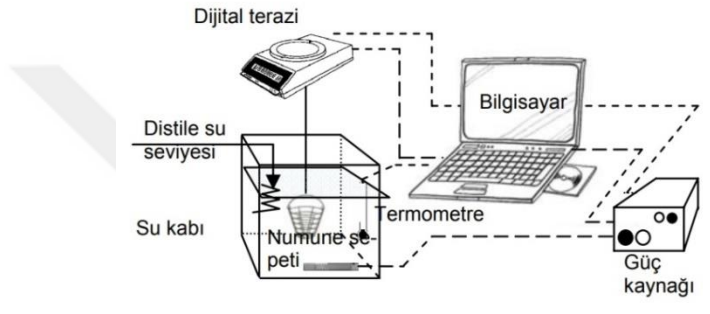
Şekil 2.2. Çekme gerilmesi altında; yalın betonun (a), lifli betonun (b) ve mühendislik özellikleri geliştirilmiş çimento esaslı kompozitlerin (c) davranışı [Gödek ve ark., 2016]

Özcan ve Atiş (2017), silis dumanı katkılı harçların karbonatlaşma ve rötre özelliklerini incelemişlerdir. İşlenebilirliği iyileştirmek için süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Silis dumanını karışıma 4 farklı, su/bağlayıcı ise 5 farklı miktarda uygulanıp rötre ve karbonatlaşma ile ilgili gözlemler yapılmıştır. Karbonatlaşma davranışının gözlemlenmesinde numuneler yarılarak yüzeylerine indikatör sıvı püskürtülmüş ve karbonatlaşma derinliği ölçülmüştür. Şekil 2.3.' de deney numuneleri görülmektedir. %10-15 oranında silis dumanının karbonatlaşmayı azalttığı belirlenirken %40 oranında silis dumanının karbonatlaşmayı arttırdığı gözlemlenmiştir. Düşük su/bağlayıcı oranında, silis dumanının rötreyi azalttığı tespit edilmiştir. Fakat su/bağlayıcı oranı arttığı durumlarda silis dumanı katkısı ile rötre miktarı artmıştır.



Şekil 2.3. Karbonatlaşma meydana gelen harç numuneleri [Özcan ve Atiş, 2017]

Yüksek performanslı çimento kompozitlerinde oluşan otojen rötre nin çimento bileşenleri ve kullanılan akışkanlaştırıcıdan ne kadar etkilendiğini araştıran Pekmezci ve ark. (2007), özellikle süper akışkanlaştırıcı kullanılması ile 3 farklı şekilde etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Otojen rötre ölçümü için kullandıkları deney düzeneği şematik olarak Şekil 2.4.' de gösterilmiştir. Yüksek miktarda otojen rötre oluşumu ikinci aşamada (Hidratasyon hızının arttığı aşama) oluşmuştur. Bu durum hidratasyon ısısının en yüksek olduğu zamana denk gelmektedir. Diğer taraftan s/ç oranı azaldıkça ve mikro çatlak oluşumu arttıkça otojen rötre oluşumu da artmaktadır.



Şekil 2.4. Hacimsel otojen rötre ölçüm sistemi [Pekmezci ve ark., 2007]

Esen (2003), poliakrilonitril lif takviyeli beton üretimi hakkında çalışma yapmıştır. Betonda lif kullanımı ile betonun zayıf olan özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu zayıf özellikler ise; çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve rötre çatlaklarının oluşumudur. Lif kullanımı ile betonda oluşan çatlakların oluşumu ve devam etmesi engellenmeye çalışılmıştır. Poliakrilonitril lif katkılı beton numuneler üretilerek betonun süneklik ve rötre özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada 6 mm ve 24 mm olmak üzere iki çeşit lif kullanılmış, bu lifler %1, 2, 3, 4 oranlarında betona ilave edilmiştir. Basınç, çekme ve eğilme testleri yapılmış ve sonuç olarak; tüm lifli numunelerde eğilme dayanımı değerlerinin ve sünekliğinin arttığı görülmüştür. Betonda oluşan rötre çatlaklarının miktarında ise, %90 oranında azalma görülmüştür.

2.2. Mikrosilika ve Çelik Lif Katkılı Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışları

2.2.1. Çelik lif

Çelik lif betonun mekanik özelliklerini; özellikle çekme dayanımı ve enerji yutma kapasitesini arttırmamasından dolayı yüksek performanslı yapı malzemelerinin vazgeçilmez malzemesidir.

Çağatay (2007), normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerini lif katkısı açısından irdelenmiştir. Uygulamalarda, basınç dayanım değerlerine ulaşmak için Ø15x30 ve 15x15x15 cm ebatlarında standart numuneler, çekme dayanım verilerine ulaşmak için ise 10x10x50 cm ebatlarındaki prizmatik standart numuneler kullanılmıştır. Basınç dayanımı için kullanılan silindir ve küp numunelerden elde edilen basınç değerlerinin oranları ve lif katkısının etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda ise çelik lif katkısının, basınç dayanım değerine katkısı olduğu görülmüştür. Fakat küp numunelerde normal dayanımlı betonların basınç dayanım değerlerine lif katkısının negatif yönde etki ettiği görülmüştür. Lif katkısı ile normal dayanımlı betonların eğilme dayanımları değişmemiş olup yüksek dayanımlı betonların eğilme dayanımı değerlerinde büyük oranda artış görülmüştür (Çağatay, 2007).

Çelik liflerin beton içerisine katılarak bilinen mekanik özellikleri nasıl değiştirdiğini araştıran Gençel ve ark. (2007), bunun için farklı çelik lif tipi ve miktarları belirlenmiştir. Çimento dozajı ve s/ç oranı sabit tutulurken çelik lif olarak iki farklı narinlik oranına sahip lifler kullanılmıştır. Bu çalışmada betonun mekanik özellikleri olan basınç ve eğilme dayanımları kontrol edilmiştir. Bir adet kontrol karışımı ile birlikte toplamda 9 adet karışım hazırlanmış ve bunlar üzerinde basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; çelik lif kullanılmasıyla birlikte lif tipinin etkisi olmadan betonun işlenebilirliği önemli oranda azalmıştır. Çelik lif miktarının artması ile basınç ve eğilme altında şekil değiştirme değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Eğilme dayanımlarını arttırmakla beraber basınç dayanımlarını ise hem olumlu hem de olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bunun

sebebinin ise çelik liflerin işlenebilirliği azaltırken betonun içinde homojen bir dağılıma sahip olmaması olarak ifade edilmiştir.

Çelik ve polipropilen liflerin normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerini inceleyen Hüsem ve Demir (2013), üretilen betonların kırılma özelliklerini ve çatlak gelişimlerini gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda üretilen lifli betonların basınç dayanımlarının lifsiz betonlara göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Deneylerde en az çatlak oluşumu ve en fazla yük taşıma kapasitesine sahip numuneler çelik lif içeren numuneler olmuştur. Her iki lif tipide en fazla yük altındaki numunelerde yavaş kırılmaya yardımcı olmuştur. Lifli numunelerde yarmada çekme dayanımı değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 2.5.' de numuneler üzerinde yapılan basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Basınç ve yarmada çekme deneyleri [Hüsem ve Demir, 2013]

Kozak (2013) tarafından yapılan çalışmada çelik lifli betonların avantajları ve karakteristik özelliklerinden bahsedilmiştir. Genel olarak çelik lif kullanımında betonun basınç dayanımı ve kontrolü üzerinde durulmuştur. Çelik lif kullanımı, betonda karakteristik özellikleri iyileştirmede etkili olmuştur. Çelik liflerin beton içerisinde hangi miktarda kullanılacağı şekline ve çimento hamuru ile bağlanma miktarına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple çeşitli şekillerde çelik lif üretilmekte olup çalışmada belirlenen özelliklere göre en iyi birleşmeyi düz ve ucu kıvrımlı çelik lifler sağlamaktadır. Çelik lif kullanımı ile sünek, dayanıklı ve düzgün yüzeyli beton elde edilebilmiştir. Çelik liflerin betondaki en önemli özelliğinin ise büyük oranda çatlak engelleme ve miktarını azaltmak olduğu görülmüştür.

Uçucu kül, çelik lif ve pomza agregası içeren betonların mekanik özelliklerini inceleyen Dinçer ve Çağatay (2004), karışımlarda 3 farklı tipte pomza, 2 farklı narinlik oranına sahip çelik lif kullanmışlardır. İşlenebilirliği istenilen düzeye getirmek için süper akışkanlaştırıcı ilavesi yapılmıştır. Sonuç olarak; normal betona çelik lif ve uçucu külün birlikte kullanılması ile çelik lifin tüm mekanik özellikleri pozitif yönde etkilediği görülmüştür. Fakat uçucu külün mekanik özellikleri zayıflattığı tespit edilmiştir. Pomza katkısının betonların birçok mekanik özelliklerini arttırmadığı görülürken çekme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Pomza katkılı betonlar sünek davranış göstermektedir.

Tokgöz ve Dündar (2015) çelik lifli ve lifsiz kompozit kolonların yapısal davranışlarını araştırmışlardır. Kompozit kolonlar iki eksenli eğilme ve eksenel basınç etkilerine maruz kalmaktadır. Kompozit kolonların yapımında çelik lif kullanımı ile bu etkilere karşı direnç arttırılmak istenmiştir. Çalışmada 16 adet lifli ve lifsiz kolon numunesi üretilmiştir. Kısa kolonlar 85 cm, narin kolonlar ise 130 cm yükseklikte hazırlanmıştır. Çelik lifler beton hacminin %0, %0,5, %0,75 ve %1 oranında katılmıştır. Silindir numunelerde, tek eksenli basınç etkisi ile basınç dayanımları araştırılmıştır. Sonuçlara göre; lifsiz numuneler maksimum yük anında aniden kırılmış, lifli numuneler ise maksimum yük anından sonra deformasyona uğramıştır. Çelik lif kullanımının betonun sünekliğini önemli düzeyde arttırdığı gözlemlenmiştir. Çelik lif kullanımının sargı etkisi ve sünekliği arttırmada etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Çalışma sonunda hacmin %0,75' i kadar çelik lif kullanımının oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çelik liflerin boyları, dozajı gibi değişkenler ile taze betonun özellikleri ve sertleşmiş betonun mekanik özellikleri hakkında araştırma yapan Türkel ve Yiğiter (2004), çalışmada 2 tip çelik lif ve 3 farklı dozaj belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda lif miktarı artışı ile çökme miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Çelik lif kullanımı ile eğilme ve çekme dayanımlarının arttığı, bunun yanı sıra sünek davranışın da arttığı görülmüştür.

2.2.2. Mikrosilika

Mikrosilika, ferrosilisyum üretiminden bir yan ürün olarak elde edilmektedir. Her ne kadar atık bir malzeme olsa da üretimi az olduğu ve yüksek puzolanik değere sahip olduğu için pahalı bir malzemedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, yüksek performanslı betonların basınç dayanımlarını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Hazır beton ve harçlarda, deniz yapılarında, baraj, tünel, köprü ve yollarda, endüstriyel zeminlerde, prekast ve prefabrik endüstrisinde kullanılmaktadır.

Mikrosilika kullanılarak yapılan bazı deneysel çalışmalar hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

Demirel ve Yazıcıoğlu (2007), karbon fiber katkılı betonlara silis dumanı ve pomza agregası eklenmesi ile üretilen hafif betonların mekanik davranışlarını incelemiş olup yapılacak deneylerde kullanılmak üzere toplamda 4 farklı numune seti üretilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde ultra ses, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda basınç dayanımında gerçekleşen artışın eğilmede çekme dayanımına oranla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Silis dumanı katkılı numunelerde ultra ses hızı değerleri artmakta olup lif katkılı numunelerde azalmıştır.

Son yıllarda beton üretiminde kullanım oranı oldukça artan silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcıların, karışım oranları ve çeşitlerinin etkileri üzerine çalışma yapan Demir ve ark. (2007), silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcıların betonun basınç dayanımı, donma çözünme ve işlenebilirlik özelliklerine etkilerini deneyler sonucunda belirlemiştir. Deneysel çalışmada, belirlenen ikame miktarlarına göre %1 oranında linyosülfat süperakışkanlaştırıcı katkılı numunede en yüksek basınç dayanımı değeri ölçülmüştür. Genel olarak ise silis dumanının basınç dayanımını arttırdığı ve süper akışkanlaştırıcının işlenebilirliği arttırdığı gözlemlenmiştir. Hem silis dumanının hem de süper akışkanlaştırıcının donma-çözülme dayanıklılığını arttırdığı tespit edilmiştir.

Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkısı ile yüksek dayanımlı ve kaliteli beton üretiminin mümkün olması üzerine araştırma yapan Şimşek ve ark. (2004), bu

katkıların miktar ve çeşitlerinin betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada silis dumanı farklı oranlarda ikame edilmiştir. Deneyler sonucunda, silis dumanı katkısı ile priz süresinin arttığı gözlemlenmiştir. Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcının optimum miktarlarda birlikte kullanıldığı tüm karışımlarda basınç dayanımı artmıştır.

Şimşek ve ark. (2005), silis dumanı ve lif katkılı betonlar ile üretilen kirişlere uygulanan üç noktalı eğilme deneyi sonucunda eğilme dayanımlarını tespit etmeyi hedefleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda silis dumanı ve lif katkılı numunelerde eğilme dayanımı değerlerinin yüksek miktarda arttığını, sadece silis dumanlı numunelerde ise eğilme dayanımının daha az artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Toklu ve ark. (2017), uçucu külün erken yaş dayanımını negatif yönde etkilemesi durumunu iyileştirmek amacıyla silis dumanı katkısı ile yüksek performans elde edilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Deneyler sonucunda en iyi performansın elde edildiği nano-silika karışım oranı %1,5 olarak belirlenmiştir. %1,5 oranının fazla olduğu tüm durumlarda istenilen sonuçtan uzaklaşarak dayanım değerleri azalmıştır.

Yüksek dayanımlı harç üretiminde nano boyuttaki malzeme kullanımının etkisini araştıran Servatmand ve Şimşek (2018), üretim aşamasında C sınıfı uçucu kül, nanosilika, nanoalümina ve nano kalsit kullanmıştır. Malzemeler karıştırıldıktan sonra 50 mm ebatlarındaki numuneler alınmış ve 28 gün sonra basınç dayanımı testi yapılmıştır. Uçucu kül ve s/ç oranı sabit tutulmuş olup nano malzeme oranları ve karışım miktarları değiştirilmiştir. En iyi basınç dayanımı %1 oranında nano silika katkılı numunenin verdiği görülmüştür (97 MPa).

2.3. Hafif Beton ve Özellikleri

Beton içerisinde çeşitli yollarla boşluklar oluşturularak veya birim hacim ağırlığı normal agregaya kıyasla daha düşük olan agregalar kullanılarak betonun birim hacim ağırlığı düşürülebilmektedir. Bu yollardan herhangi biri ile üretilen birim hacim ağırlığı 2200 kg/m^3 'ten düşük olan betonlara hafif beton denilmektedir. Yapısal hafif beton üretiminde dikkate alınması gereken ilk husus, dayanım özelliği değil, düşük birim hacim ağırlık özelliğidir. Buradaki amaç, maksimum birim hacim ağırlığı limitlerini aşmadan, minimum dayanım limitlerinin altına düşmeyen beton üretilmesidir.

Altun (2006), çelik lif takviyeli hafif agregalı beton üretimi yapmıştır. Yapı malzemesi olarak kullanılan betonun yapılan araştırmalara göre kendi ağırlığının, taşınması istenen ağırlık ile nerdeyse aynı olması sebebiyle deprem vb. durumlarda istenilen performansı göstermediği tespit edilmiştir. Bu sebeple beton üretiminde hafif agrega kullanımı ile betonun birim hacim ağırlığı azaltılmaya çalışılmıştır. Fakat betonun çekme ve eğilme etkilerine karşı yetersiz olduğu bilinmesi üzerine, beton içerisine bu etkilere karşı direnç gösterebilmesi için çelik lif katkıları kullanılmıştır. Çalışmada hafif agregalı 36 adet çelik lifli ve 6 adet çelik lifsiz silindir numune üretilmiştir. Agregası olarak da bims kumu ince agregası olarak kullanılırken, iri agregası olarak pomza taşı kullanılmıştır. 28 gün sonunda basınç dayanım testleri yapılmış ve sonuç olarak çelik lif kullanımının kırılma enerjisini arttırdığını fakat basınç dayanımına katkı sağlayamadığı görülmüştür.

Pomza agregası kullanılarak üretilen hafif betonlarda çelik lif katkısının etkilerini araştıran Sancak ve Ünal (2000), hafif ve yarı hafif olarak üretilen betonlarda çimento dozajı ve s/ç oranı sabit tutmuştur. Yapılan deneylerde basınç dayanımı, ultra ses geçiş hızı ve birim ağırlık değerleri araştırılmış olup ultra ses hızı ve beton birim ağırlık değerlerinin değişmediğinin fakat basınç dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Yolcu ve Girgin (2017), doğal ve yapay hafif agregaların kullanılması ile yüksek dayanım değerlerine sahip beton üretiminin yapılabilmesinin mümkün olup olmadığını araştırmışlardır. Hafif agregaların kullanım öncesinde ıslatılması ve

içerisinde bulunan boşluk hacminin su ile dolmasıyla, beton dökümünden sonra kendi içerisindeki su ile hidratasyona katkı sağladığı belirtilmiştir. Hafif beton üretiminin dünyada birçok örneği bulunmakla birlikte Türkiye de genellikle blok, sıva ve dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Uluslararası alanda üretilen hafif betonların tasarım özellikleri geliştirilerek taşıyıcı hafif beton üretilebileceği öngörülmektedir. Bu şekilde yapı ağırlığı azaltılarak dayanım değerleri artırılabilir. Şekil 2.6.' da bazı hafif agregalar gösterilmektedir (Yolcu ve Girgin, 2017).



a) Genleştirilmiş Şist b) Genleştirilmiş arduvaz c) Doğal bims (pomza)

Şekil 2.6. Beton içinde en çok kullanılan yapay agregalar ve doğal pomza agregası [Yolcu ve Girgin, 2017]

Çiçek ve Gönül (2018), birim ağırlığı yarı hafif sınıfında olan skoria agregası kullanarak yüksek performanslı beton üretimi hakkında araştırma yapmıştır. Çalışmada işlenebilirliği inceleyebilmek için belli serilerde hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Hiper akışkanlaştırıcının etkisi ile su miktarı azaltılmış olup basınç dayanımı değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Skoria agregasının pürüzlü yüzeyi, puzolanik etki oluşturan kimyasal yapısı ve hafif agregaya göre yoğun yapısı sebebiyle basınç dayanımı yüksek yarı hafif beton üretimine olanak sağlamıştır.

Genleştirilmiş kil agregası kullanılarak farklı çimento dozajlarında taşıyıcı özelliğe sahip hafif beton üretiminin mümkün olduğu ile ilgili çalışma yapan Subaşı (2009), üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerinin tespit edilmesi için deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda; genleştirilmiş kil kullanılan numunelerde çimento dozajı arttıkça boşluk oranının azaldığı ve işlenebilirlikte iyileşmeler gerçekleştiği görülmüştür. Kullanılan hafif agrega ile betonun birim hacim ağırlığı azaltılmış ve artan çimento dozajı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımı değerleri

artmıştır. Deney sonuçlarına göre hedeflenen taşıyıcı hafif beton üretimi mümkün olduğu belirtilmiştir.

Serin ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada 3 farklı tip agrega ve farklı karışım oranları kullanarak normal, hafif ve yarı hafif ağırlıkta beton üretimi yaparak bu betonların ultrases geçiş hızı, basınç dayanımları, özgül ağırlıkları, su emme miktarları ve porozite gibi özellikleri araştırmışlardır. Deneylerde yapılan gözlemlere göre en yüksek basınç dayanımı değerleri normal betonlarda elde edilmiştir. Sonrasında pomza bulunan yarı hafif betonda yüksek dayanım elde edilmiştir.

Altun ve Aktaş (2011), bu çalışmada farklı dayanım değerlerine sahip hafif betonların, çelik lif takviyesi ile eğilme dayanımı özelliği incelenmiştir. Deneyler sonucunda çelik lif katkısı ile eğilme dayanımı ve eğilme tokluğu değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise azalan ölü yük miktarının ve çelik lif sayesinde sünek davranış oluşmasıdır. Azalan ölü ağırlık ve artan sünek davranış eğilimi sebebiyle deprem yüklerinden etkilenme oranının azalacağı öngörülmektedir.

Hafif agregalı betonlarda silis dumanı katkısı ile çökme ve basınç dayanım değerlerinin ilişkisi inceleyen Beycioğlu ve ark. (2010), deneysel çalışma aşamasında farklı miktarlarda silis dumanı katkısı ile erken yaşta çökme miktarı ve sertleşmiş betonda basınç dayanımı değerlerinin gelişimini gözlemlemiştir. Sonuçlara bakıldığında silis dumanı katkısı ile çökme değeri azalırken işlenebilirlik olumsuz yönde etkilenmiştir. Basınç dayanımı değeri % 15 karışım oranında artmıştır.

Khanjarkhani (2014), perlit hafif agregası ile üretilen hafif betonla ilgili bir çalışma yapmıştır. Perlit kullanımı ile hafif beton üretiminin mümkün olduğunu belirlemiştir. Yalıtım betonunda kullanılabildiği, ısıtılarak hacminin arttırılabildiği, boşluklu yapısı sebebiyle elastisite modülünün düşük olduğu ve su emme kapasitesinin yüksek olduğu belirtilmiştir.

Pomza ve diatomitin hafif beton üretiminde kullanılması hakkında araştırma yapan Ünal ve ark. (2003), çalışmada hafif agrega olarak pomza ve diatomit taşları kullanılırken, normal agrega olarak ise kırma kum kullanmıştır. Hafif ve normal agrega oranları belirlenmiş ve karışımlar düzenlenmiştir. Hafif agregalar suya doymun hale getirilmiş ve hazırlanan karışımlardan 10x10x10 cm lik küp numuneler

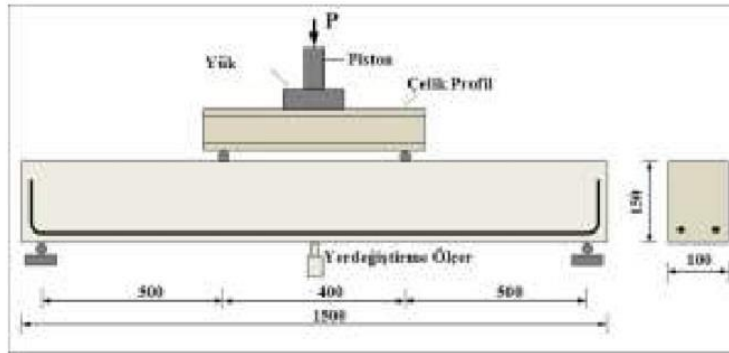
üretilmiştir. Numuneler basınç ve ultra ses hızı testlerine tabi tutulmuş, sonuç olarak ise pomza içerikli karışımlarda ince malzeme miktarlarının azaldığı takdirde basınç dayanımı ve ultra ses değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Geçten ve Gül (2013), pomza ve normal agregalı betonları incelemiştir. Araştırmada üretilen numuneler farklı kür koşulları altında incelenmiş, susuz kür, günde 1, 2 ve 3 kez kütleme, son olarak ise su içerisinde kütleme yapılmıştır. Normal agregalı, hafif agregalı olarak beton üretimi yapılırken, numuneler üzerinde geçirimsizlik ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Hafif ve normal agregalı betonların tamamında kütleme koşulları iyileştirildikçe betonun geçirimsizliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Hafif agregalı betonlarda kütleme sayısı ve süresi arttıkça basınç dayanımında artış olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; normal agregalı betonların kütleme süresi ve sayısının, hafif agregalı betonlara göre daha fazla yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

2.4. Yüksek Performanslı Beton

Yüksek performanslı beton kavramı ile betonun sadece basınç dayanımı değil bunun yanında elastisite modülü, sünme, rötre, yangına karşı direnç, donma-çözülme direnci, hacimsel kararlılık, yüksek erken dayanım, tokluk, aşınma direnci vb. birçok özelliğinin de iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Türker ve ark.(2016) ultra yüksek performanslı lifli beton ile ilgili araştırmalar yapmışlardır. UYPLB' ın basınç dayanımı ve süneklilik özelliklerinin yanı sıra çekme dayanımının da yüksek olduğu saptanmıştır. Bu sebeple yapılarıdaki ölü yükleri, deprem yükleri gibi değerleri azaltarak estetik yapıların inşasında da yardımcı olacağı görülmüştür. Çalışmalarında UYPLB içeren kirişlerde eğilme dayanımı için en uygun lif tipini belirlemeyi amaçlamışlardır. Kullandıkları betonarme deney numunesi ve deney düzeneği şekil 2.7.' de verilmiştir. Çalışmada 120 MPa ve hacimce %1,5 lif içeren beton kullanılmıştır. Karışımda YFC, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kirişlere 4 noktalı eğilme testi yapılmış, sonuç olarak düz çelik lifin diğer tiplere göre daha iyi eğilme dayanımına katkı gösterdiği tespit edilmiştir. Çelik lifli numunelerin tamamı sünek davranış göstermiş ve çelik lifli numunelerin tamamının yük kapasitesinin lifsiz betona göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

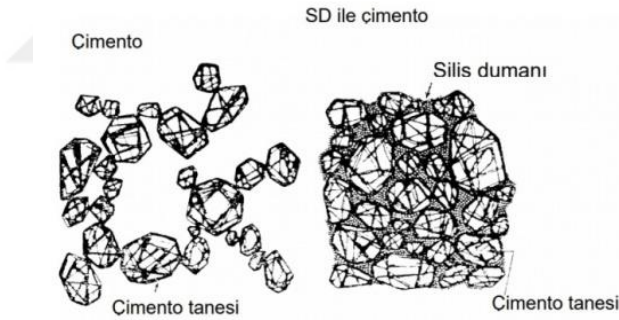


Şekil 2.7. Şematik yükleme ve ölçüm düzeneği [Türker ve ark., 2016]

Sümer ve Söyler (2002), yüksek performanslı betonların özelliklerini araştırmışlar ve yüksek performanslı beton üretmişlerdir. Çalışmada 10 set üretim yapılmış ve her set 9 adet numuneden oluşmaktadır. İlk 5 sette beyaz, diğer 5 sette ise katkısız portland çimentosu kullanılmıştır. Numunelere eklenmek üzere A ve B kod isimlerinde iki adet katkı kullanılmıştır. Tüm numunelerde silis dumanı

kullanılmış olup, toplamda 90 adet numune hazırlanmıştır. Çalışmada s/ç oranı değişikliği ile basınç dayanımı değişimi gözlemlenmiştir. Üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımı ölçülmüş ve en fazla 80 MPa değerine sahip beton üretilenmiştir. Kullanılan agreganın kırmataş olması sebebiyle yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaşılmış ve kullanılan A kodlu katkı maddesi sahip numunelerde daha yüksek basınç dayanımına ulaşılmıştır.

Yalın ve çeşitli katkıları ile elde edilen yüksek performanslı beton kavramı ve ilgili çalışmaları inceleyen Taşdemir ve Bayramov (2002), çeşitli kaynaklar ve çalışmaların ışığında bu kavramları daha anlaşılır halde açıklamıştır. Yüksek ve normal dayanımlı betonlarda lif katkısının, gevrek kırılmayı önlediği ve mekanik özellikleri iyileştirdiği belirtilmektedir. Betonun gevrek bir malzeme olması sebebiyle lif katkısı ile sünek davranış eğilimi göstermesi sağlanabilmektedir. Ayrıca, MS' nin pozolanik etkisinin yanı sıra mikro dolgu etkisini şematik olarak Şekil 2.8.' de göstermişlerdir. MS' nin bu özelliğinden dolayı yüksek performanslı beton üretiminde yaygın olarak kullanıldığı belirtilmektedir.



Şekil 2.8. Çimento hamurunda silis dumanının doldurma etkisi [Taşdemir ve Bayramov, 2002]

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Deneyisel çalışma hakkında yapılan araştırmalar sonucunda, karışımlarda kullanılan malzemelerin genellikle farklı özellikleri incelenmiş ve bu malzemelerin birlikte kullanılmadığı görülmüştür. Birlikte kullanılacak olan malzemelerin kendi başlarına betonun mekanik özelliklerini nasıl etkiledikleri hakkında yapılan literatür araştırmasını dikkate alarak çalışmanın en doğru sonuca ulaşması konusunda hassasiyet gösterilmiştir.

Bu bölümde deneyisel çalışmada kullanılmak üzere belirlenen çimento, agrega, mikrosilika, süperakışkanlaştırıcı ve çelik elyaf malzemelerinin hakkında fiziksel ve kimyasal özellikleri tanıtılmıştır. Ayrıca karışım oranları, deney numuneleri ve uygulanan deney yöntemleri açıklanmıştır.

3.1. Malzemeler

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada, Blaine inceliği 343 m²/kg ve özgül ağırlığı 3.17 olan ASTM Tip I' e karşılık gelen Portland çimentosu (CEM I 52,5N) kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimento fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal analiz (%)	Portland Çimento
CaO	63,28
SiO ₂	18,91
Al ₂ O ₃	5,02
Fe ₂ O ₃	3,12
MgO	1,6
K ₂ O	0,68
Na ₂ O	0,14
Fiziksel özellikleri	
Özgül ağırlık	3,17
Blaine inceliği (m ² /kg)	343

3.1.2. Agregat

İnce agregat olarak kullanılan malzemelerden olan dere kumuna ait maksimum tane boyutu 4 mm' dir. Dere kumunun su emme ve özgül ağırlık değerleri sırasıyla % 0,55 ve 2,63'tür. Bu agreganın fiziksel özellikleri Çizelge 3.2.' de verilmiştir. Şekil 3.1.' de dere kumu gösterilmiştir.

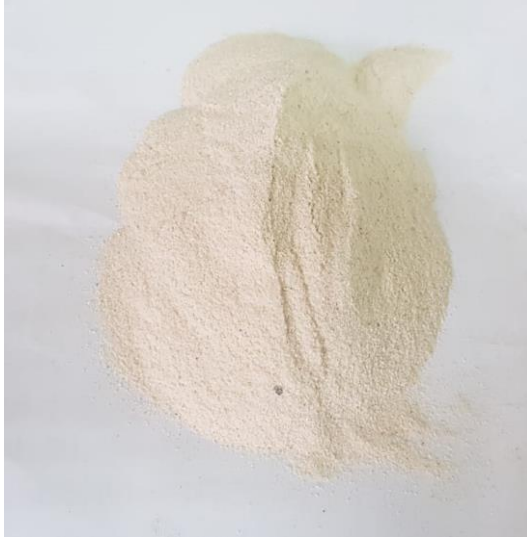
Çizelge 3.2. Dere kumuna ait fiziksel özellikler ve elek analizi sonuçları

Elek Boyutu(mm)	Geçme Yüzdesi (%)
16	100
8	100
4	99
2	95
1	62
0.5	30
0.25	8
0.125	3
İncelik modülü	-----
Özgül ağırlık	2,63
Su emme (%)	0,55



Şekil 3.1. Dere kumu

Özgül ağırlığı 2.65 olan kuvars kumu da ince agregat olarak kullanılmıştır. Kuvars agregası, 0.3-0.6 mm ve 0.6-1.2 mm' lik iki farklı boyutta kullanıldı. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.' de kullanılan kuvars agregaları görülmektedir.



Şekil 3.2. Kuvars tozu



Şekil 3.3. Kuvars kumu

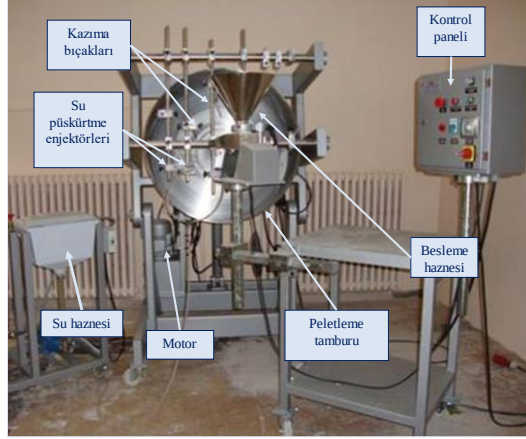
Deneysel çalışmada kullanılmak üzere uçucu kül hafif agregaları soğuk bağlama yöntemiyle üretilmiştir. Bu amaç doğrultusunda çapı 800 mm, derinliği 350 mm olan ve düşeyde 45° açığa sahip peletleme tamburu (Şekil 3.4.) kullanılmış olup bu tamburun dönüş hızı 42 dev/dak olarak ayarlanmıştır. Öncelikle, kütlece %10'u Portland çimentosu ve %90'ı uçucu kül olan toz halindeki kuru karışım peletleme tamburunda homojen bir karışım elde edilinceye dek karıştırıldı. Ardından 10 dakika boyunca döner haldeki tamburda bulunan toz halindeki kuru portland çimentosu ve uçucu kül karışımının üzerine su püskürtüldü. Topaklaştırıcı olarak davranan püskürtülen suyun miktarı toz haldeki malzemenin kütlece %22'sidir. Daha sonra

sıkışmış ve sert küresel uçucu kül peletleri elde etmek için tamburun 10 dakika daha dönmesine müsaade edildi. Toplamda 20 dakika süren bu üretimde elde edilen uçucu kül peletleri Şekil 3.5. 'de gösterilmiştir. Bu işlemin ardından, taze peletler bağıl nem oranının %70 olarak saptandığı plastik poşetlere konup 28 gün boyunca sıcaklığı 20° olan kürlenme odasında muhafaza edilmiştir. Kürlenme süreci bittiğinde, sertleşmiş agregaların beton üretiminde kaba agrega olarak kullanılabilmesi için 4 ve 12 mm' lik eleklerden elenmiştir. ASTM C127 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilen neme doymuş yüzeyi kuru haldeki agregaların özgül ağırlığı ve 24 saatlik su emme kapasiteleri sırasıyla 1.71 ve % 22.2 olarak ölçülmüştür. Ayrıca uçucu kül hafif agregalarının elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3.' de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Normal ve hafif ağırlıklı agregaların elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri

Elek çapı (mm)	Hafif agrega (%)
31,5	100
16,0	100
8,0	100
4,0	100
2,0	68,18
1,0	61,89
0,50	55,35
0,25	49,67
Özgül ağırlık	1,64

Şekil 3.4.' de peletleme diski gösterilmiştir. Şekil 3.5.' da üretilen hafif agrega peletleri görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.4. a) Peletleme diskinin genel görüntüsü ve b) Peletleme diskinin özellikleri



Şekil 3.5. Sıkışmış ve sert küresel uçucu kül peletleri

Üretilen yapay hafif agrega taneciklerinin deneysel çalışmada kullanılabilmesi için şekil 3.6.' da gösterilen kırıcı makine yardımıyla kırım işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Sert küresel uçucu kül peletlerinin kırılması için kullanılan kırıcı

Kırılma işleminin ardından malzemeler elenerek deneysel çalışmada kullanılacak olan maksimum dane çapı 4 mm olarak belirlenmiştir. Kırılma ve eleme işleminin ardından yapay hafif agregalar şekil 3.7.' de gösterildiği şekildedir.



Şekil 3.7. Kırılmış ve elenmiş sert küresel uçucu kül taneleri

3.1.3. Mikrosilika

Mikrosilika, çimentoya ek olarak karışımlarda kullanılmıştır. Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5. mikrosilikanın kimyasal ve fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 3.4. Mikrosilika' ya ait kimyasal özellikler

Özellik	Mikrosilika
SiO ₂ (%)	90,36
Al ₂ O ₃ (%)	0,71
Fe ₂ O ₃ (%)	1,31
CaO (%)	0,45
SO ₃ (%)	0,41
K ₂ O (%)	1,52
Na ₂ O (%)	0,45
Kızdırma Kaybı (%)	3,11

Çizelge 3.5. Mikrosilika' ya ait fiziksel ve mekanik özellikler

Özellik	Mikrosilika
Özgül Yüzey Alanı (m ² /kg)	21080
Özgül ağırlık	2,2

3.1.4. Kimyasal katkı

Harç karışımlarının işlenebilirlik özelliğini arttırmak için BASF yapı kimyasalları tarafından üretilmekte olan, yüksek oranda su ihtiyacını azaltan ve sertleşme hızını arttıran özellikteki süperakışkanlaştırıcı (SA) 'MASTERGLENİUM 51' katkısı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan süperakışkanlaştırıcı, sıvı halde bir kimyasal katkıdır. Kimyasal katkının özgül ağırlığı 1,07' dir.

3.1.5. Çelik lif

6 mm uzunluğunda ve 0.16 mm çapında pirinç kaplı çelik lifler fiber takviyesi sağlamak için kullanılmıştır (Şekil 3.8.). En boy oranı, özgül ağırlık ve elyafların gerilme mukavemeti, üretici tarafından rapor edildiği gibi sırasıyla 37,5, 7,17 ve 2250 MPa' dır.



Şekil 3.8. Harç karışımlarında kullanılan mikro çelik lif

3.2. Karışımlar ve Numuneler

3.2.1. Karışım tasarımı

Su/çimento oranı 0.20 ve çimento miktarı sırasıyla 911,7 , 907,8 , 904 , 663,1 , 660,3 ve 657,6 kg/m³ olan 6 farklı harç karışımı, içerisinde yapay hafif agrega bulunan ve bulunmayan olmak üzere 2 numune seti hazırlandı. Tüm harç karışımlarında çelik elyaf, harç hacminin %0, 1, ve 2'si oranında kullanıldı. Toplam 12 farklı harç karışımı üretilmiş olup, bu karışımlara ait oranlar Çizelge 3.6.' da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Numune karışım miktarları (kg/m³)

Karışım No	Çimento	Su	Mikrosilika	Dkum	Kuvars 1 (Toz)	Kuvars 2 (İri)	Süper Akışkanlaştırıcı	Çelik Lif	Yapay Agrega
D-0-0	911,7	182,3	0,00	1002,9	177,8	177,8	18,2	0,00	0,00
D-0-1	907,8	181,6	0,00	998,6	177	177	22,7	78,5	0,00
D-0-2	904	180,8	0,00	994,4	176,3	176,3	27,1	157	0,00
D-25-0	663,1	176,8	221	972,5	172,4	172,4	17,7	0,00	0,00
D-25-1	660,3	176,1	220,1	968,5	171,7	171,7	22	78,5	0,00
D-25-2	657,6	175,4	219,2	964,5	171	171	26,3	157	0,00
Y-0-0	911,7	182,3	0,00	902,6	160	160	18,2	0,00	86,63
Y-0-1	907,8	181,6	0,00	898,8	159,3	159,3	22,7	78,5	86,96
Y-0-2	904	180,8	0,00	895	158,7	158,7	27,1	157	87,28
Y-25-0	663,1	176,8	221	875,2	155,2	155,2	17,7	0,00	84,01
Y-25-1	660,3	176,1	220,1	871,6	154,5	154,5	22	78,5	84,33
Y-25-2	657,6	175,4	219,2	868,1	153,9	153,9	26,3	157	84,66

3.2.2. Deney numuneleri

Karışımlar için Harran Üniversitesi inşaat mühendisliğine ait laboratuvarında, 5 lt. kapasitesi olan mikser kullanıldı (Şekil 3.9.). Bu işlem yapılırken, ince agregalar çimento ile birlikte mikse konuldu, daha sonra çelik elyaf eklendi ve elyaflar gözle görülür şekilde üniform dağılana kadar 3 dk. süresince karıştırıldı. Daha sonra, su ile homojen şekilde karışması sağlanan süper akışkanlaştırıcıları karışım yavaş yavaş eklendi ve 7 dk. boyunca karıştırma işlemine devam edildi. Tüm harç karışımları için aynı yöntem uygulandı.



Şekil 3.9. Harç karışımlarında kullanılan mikser

Her bir YÇEK karışımından, toplam ve kılcal su emme için üç adet 50x50x50 mm küp, eğilme ve basınç için üç adet 40x40x160 mm prizma, rötre için dört adet 25x25x285 mm prizma numune alınmıştır. Hazırlanan karışımlar kalıplara üç aşamada doldurulmuş ve vibrasyon uygulanarak sıkıştırılması sağlanmıştır. Deney numuneleri, 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Tüm numuneler deney zamanına kadar kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Numunelere su kürü uygulanması

3.3. Deney Yöntemleri

3.3.1. Yayılma deneyi

Tüm karışımlardaki yayılma değerleri EFNARC (2002)' de önerilen mini yayılma deneyinden faydalanılarak yayılma çapının 170-210 mm arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu belirlenen değerler arasında kalınması durumu, numunelerde kullanılan süperakışkanlaştırıcı (SA) miktarı ile sağlanmıştır. Bu deneyde kesik koni şeklinde mini yayılma tablası deneyi aparatı kullanılmıştır. Kullanılan aparatın üst çapı 70 mm, alt çapı 100 mm ve yüksekliği 60 mm boyutlarındadır (Şekil 3.11.). Harçlar mikserde karıştırıldıktan sonra herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan, elle çalışan sarsma mekanizmasına sahip döküm kaideli paslanmaz çelik tablanın üzerine yerleştirilen bu kesik koni içine konulup ardından koni yukarıya doğru dik bir şekilde yavaş yavaş kaldırılmıştır. 15 sn içerisinde toplamda 25 adet sarsma işlemi ile yayılma işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra dairesel bir yayılma gösteren taze YÇEK harcının çapı, birbirine dik olan iki

eksende ölçülüp elde edilen değerlerin ortalaması sonucu son çap olarak kaydedilmiştir (Çizelge 3.7.). Böylece “yayılma çapı” bulunmuştur.

Çizelge 3.7. Yayılma tablası deneyi sonuçları (cm)

Karışım No	1.Eksen Yayılma Çapı(cm)	2.Eksen Yayılma Çapı(cm)	Ort. Eksen Yayılma Çapı(cm)
D-0-0	17,50	18,00	17,75
D-0-1	17,00	17,50	17,25
D-0-2	17,00	17,00	17,00
D-25-0	17,00	17,50	17,25
D-25-1	20,00	19,00	19,50
D-25-2	20,00	19,50	19,75
Y-0-0	20,00	19,50	19,75
Y-0-1	20,00	20,00	20,00
Y-0-2	20,00	20,00	20,00
Y-25-0	20,00	20,50	20,25
Y-25-1	20,00	21,50	20,75
Y-25-2	20,00	22,50	21,25



Şekil 3.11. Yayılma deney düzeneği

3.3.2. Basınç dayanımı

YÇEK' lerin basınç dayanımı testleri ASTM C39 standardına göre yapılmıştır. Bu deneyler hazırlanan 40×40×160 mm prizma numunelerin eğilme deneyleri ardından, elde edilen 40x40xSB numuneler boy ekseninde ortalananarak 28. ve 56. günlerde 3000 kN kapasiteye sahip bir pres kullanılarak kırılmışlardır (Şekil 3.12). Deneyin yapılabilmesi için cihaza uygun basınç aparatı kullanılmıştır. Her bir karışımın basınç dayanımı değeri, test edilen numunelerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.



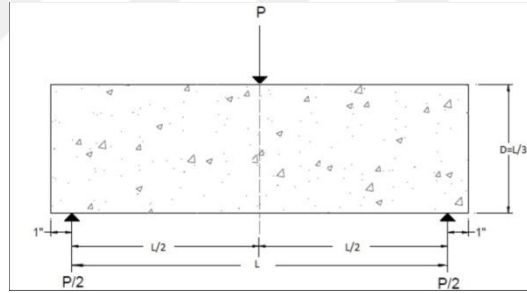
Şekil 3.12. Basınç dayanımı deneyi

3.3.3. Eğilme dayanımı

Beton numunelerin eğilme dayanımı deneyi ASTM C78 standardına göre yapılmıştır. 28 ve 56 günlük 40x40x160 mm boyutundaki kiriş numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13). Deneyin yapılabilmesi için cihaza uygun 3 noktalı eğilme deneyi aparatı kullanılmıştır. Üç noktalı eğilme dayanımı deneyinin şematik gösterimi Şekil 3.14. 'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Eğilme dayanımı deneyi



Şekil 3.14. Eğilme dayanımı deneyinin şematik gösterimi

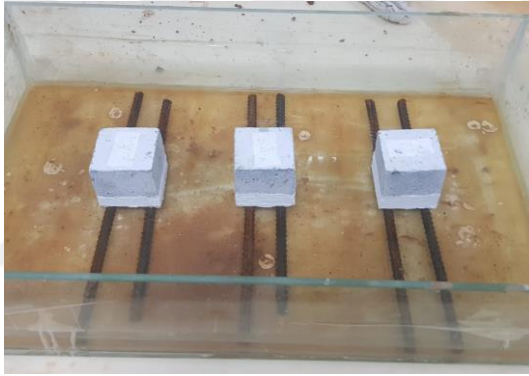
3.3.4. Kılcal ve toplam su emme

Betonun toplam ve kılcal su emme deneyleri standartlara göre yapılmıştır. 28 ve 56 günlük 50x50x50 mm boyutundaki küp numunelerin kür havuzundan 1 gün öncesinden çıkarılarak birim ağırlıkları kaydedilip 24 saat boyunca 105 °C derecedeki etüvde bekletilmiştir (Şekil 3.15.). Etüv sonrasında kuru birim ağırlıkları kaydedilmiştir. Toplam su emme okumaları tamamlanınca kılcal su emme okumaları için numunelerin alt çeperleri 1 cm eninde su geçirmez şekilde silikon malzeme ile kapatılmıştır. Silikon malzeme dayanımını kazandıktan sonra ise kılcal su emme deney düzeneğine yerleştirilip 1-4-9-16-25-36-49-64 dakikalık periyotlarda numune

tabanları bir havlu yardımıyla kurutularak numune ağırlıkları kaydedilmiştir (Şekil 3.16.). Böylece belirlenmiş olan sürelerde kılcal yolla emilen su miktarları belirlendi.



Şekil 3.15. Numunelerin etüvde kurutulma işlemi



Şekil 3.16. Kılcal su emme deneyi

3.3.5. Rötire

Betonun rötire deneyine ait okumaları ASTM C157 standardına göre yapılmıştır. Bu deneyler hazırlanan 25x25x285 mm prizma numunelerin günlük okumaları kaydedilerek büzülme miktarları belirlenmiştir. Her bir karışım için hazırlanan 4 adet numuneden iki tanesi kuruma rötresi iki tanesi ise ötojen rötrenin belirlenmesi için kullanılmıştır. Ötojen rötire okuması alınan numuneler döküm saatinden itibaren 24 saat sonra kalıplardan çıkarılıp hava almayacak şekilde streç film ile sarılmıştır (Şekil 3.17. ve Şekil 3.18.). Her bir karışımın rötire değeri, test edilen iki numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.



Şekil 3.17. Kuruma ve ötojen rötre numuneleri



Şekil 3.18. Rötre ölçüm cihazı

3.3.6. Elastisite modülü

Fiziksel olarak elastisite modülü, uygulanan basınç kuvveti altındaki malzemenin deformasyona karşı direncinin bir ölçüsüdür. Elastisite modülü ne kadar yüksekse, malzemenin rijitliği de o kadar yüksektir. Bu nedenle elastisite modülü, tasarımda kullanılan betonun önemli bir mekanik özelliğidir. Betonun yarı gevrek doğası nedeniyle, elastik bölgede gerilmenin karşılık gelen birim şekil değiştirme ile doğrudan orantılı olması durumu betonun elastisite modülünün değerlendirilmesinde kullanılamaz. Bu nedenle, betonun statik, dinamik ve eğilme elastik modüllerini belirlemek için bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Genel tasarım amaçları için en çok faydalanan elastisite modülü değeri statik elastisite modülüdür. Neredeyse tüm tasarım kodlarında, statik elastisite modülünü tahmin etmede faydalanan ampirik bağıntılar bulunmaktadır. Bunların en bilinenleri, CEB-FIP (Uluslararası Yapısal Beton Federasyonu) tasarım kodlarında ve ACI komitesi 318 (ACI 318R-05) tarafından bildirilen standartlarda verilmiştir. Bu bağıntılar Denklem 1-2’ de verilmiştir.

ACI 318-05 Denklemi;

$$E_c = 0.043w^{1.5}\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

CEB-FIP (1990) Denklemi;

$$E_c = 9500(f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (2)$$

Ülkemizde ise TS500’de aşağıdaki bağıntı verilmektedir (Denklem 3).

$$E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \quad (3)$$

Burada E_c , statik elastik modülünü (MPa), w betonun birim ağırlığını (kg/m^3), f_{ck} ise standart silindirik numunenin ($\text{Ø}150 \times 300$ mm) karakteristik dayanımını göstermektedir. ACI 318R-05 formülünde beton birim ağırlığı 2300 kg/m^3 kabul edildiğinden Denklem 1 aşağıdaki gibi sadeleştirilmektedir (Denklem 4).

$$E_c = 4750\sqrt{f_{ck}} \quad (4)$$

Bu çalışmada YÇEK' lere ait elastisite modülü değerleri, yukarıdaki bağıntılardan faydalanılarak elde edilmiştir. Yüksek dayanımlı betonlarda şekil-boyut etkisi ihmal edilebilir bir düzeydedir. Bu tezde incelenen YÇEK' lerin basınç dayanımı normal betonlara göre çok yüksek olduğundan elde edilen basınç dayanımı değerlerinin standart silindirik ($\varnothing 150 \times 300$ mm) numune basınç dayanımına eşdeğer olduğu kabul edilmiştir. Bundan dolayı herhangi bir şekil-boyut etkisi düzeltme faktörü dikkate alınmamıştır.

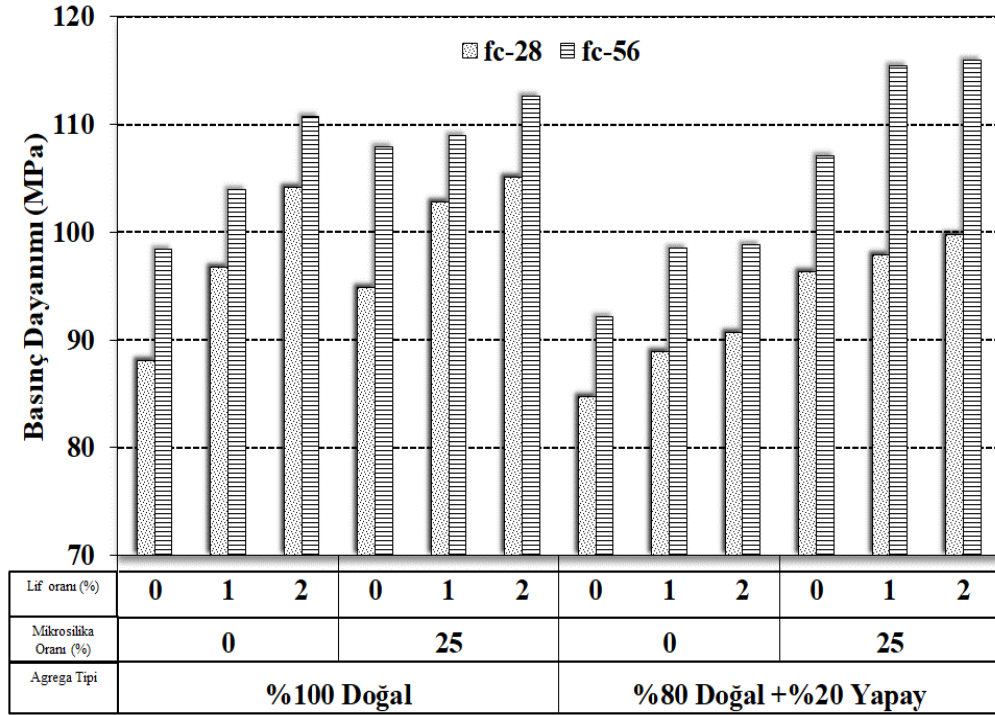


4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çizelge 4.1.'de mikrosilikalı ve yalın YÇEK' lerin lif oranı (%), mikrosilika oranı (%) ve agrega tipi dikkate alınarak 28 ve 56 günlük basınç dayanımı değerleri sunulmuştur. Şekil 4.1.' de ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Basınç dayanımı sonuçları

Agrega	MS	Fiber	fc-28	fc-56
Doğal	0	0	88,1	98,4
		1	96,7	103,9
		2	104,2	110,7
	25	0	94,9	108,0
		1	102,8	109,0
		2	105,1	112,6
Yapay	0	0	84,7	92,1
		1	88,9	98,5
		2	90,7	98,9
	25	0	96,4	107,1
		1	97,9	115,4
		2	99,8	116,0



Şekil 4.1. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Lif oranı artışı ile tüm karışımlarda 28 ve 56 günlük dayanım değerlerinin arttığı görülmüştür. %100 doğal agrega içeren mikrosilikasız karışımlarda lif miktarının %1'den %2'ye çıkarılması 28 ve 56 günlük dayanım değerlerinde sırasıyla %7,76 ile %6,54 artışa neden olurken %25 mikrosilika içeren karışımlar için bu değerler %2,2 ile %3,3 olarak belirlenmiştir. %20 oranında yapay agrega içeren karışımlar için ise bu değerler sırasıyla %2 ile %0,33 ve %1,9 ile %0,52 olarak bulunmuştur. Lifsiz karışımlar için mikro silikanın eklenmesi %100 doğal agrega içeren karışımların dayanım değerlerinde %7,7 oranında artışa sebep olurken %20 yapay agrega içeren karışımlarda basınç dayanım değerini %13,75 oranında arttırmıştır. Yapay agrega içeren karışımlarda mikrosilikanın dayanım üzerindeki etkisi daha belirgin olmuştur.

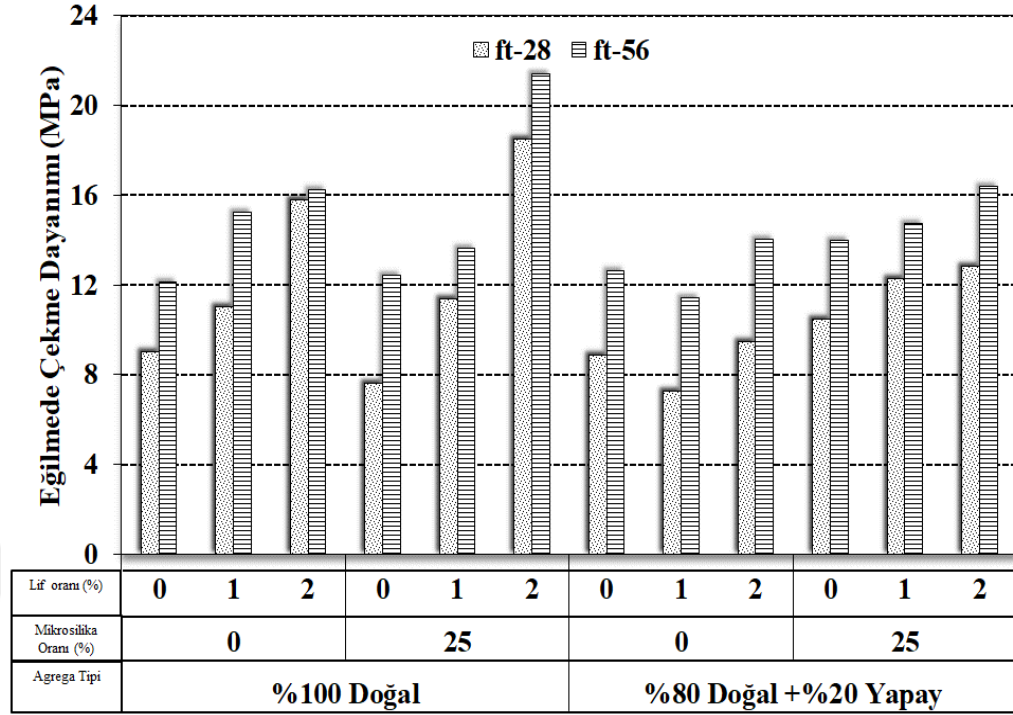
Elde edilen veriler incelendiğinde tüm lif oranları için mikrosilika miktarının artışının da dayanım değerleri üzerinde olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, %100 doğal agrega kullanılan karışımlar ile kıyaslandığında, ikame olarak %20 yapay agrega kullanımının (56 günlük %25 mikrosilika ile %1 ve %2 lif oranlarına sahip karışımlar hariç) tüm dayanım değerlerini azalttığı görülmüştür.

%100 doğal agrega içeren karışımlar ile kıyaslandığında, yapay agrega içeren karışımlarda mikro silika eklenmesinin etkisi daha belirgin olmuştur. Maksimum basınç dayanımı 56 günde, %2 lif oranı, %25 mikrosilika miktarı ve %20 ikame yapay agrega içeren karışım ile 116 MPa olarak elde edilmiştir. Song ve Hwang, (2004) çeşitli lif miktarlarının yüksek performanslı betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Lifsiz betona göre % 15,1 oranında daha yüksek olan maksimum dayanım değerine %1,5 oranında lif içeren beton ile ulaşılmıştır. Kaikea ve ark., (2014) mineral katkının ve değişen lif miktarının yüksek dayanımlı çelik lif takviyeli beton davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çelik lif miktarının artışının basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Basınç dayanımı, yüksek fırın cürufu ile % 2'lik bir çelik lif hacmi oranı için yaklaşık % 30 artmıştır. Abbass ve ark., (2018) çalışmalarında farklı miktarlarda ve uzunluklarda çelik lifler kullanımının basınç dayanımı değerlerini %10 ile %25 oranlarında arttırdığını belirtmişlerdir. Betonun çelik lif içeriği % 0,5' den %1,5'e çıkarıldığında ise basınç dayanımı en fazla % 10 civarında artmıştır. Yazıcı ve ark., (2007) %0,5 %1 ve %1,5 oranlarında lif kullanımının %4 ile %19 aralığında basınç dayanım değerlerini arttırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.2.'de mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin lif oranı (%), mikrosilika oranı (%) ve agrega tipi dikkate alınarak 28 ve 56 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri sunulmuştur. Şekil 4.2.' de ise bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Eğilme dayanımı sonuçları

Agrega	MS	Fiber	ft-28	ft-56
Doğal	0	0	9,0	12,1
		1	11,0	15,2
		2	15,8	16,2
	25	0	7,6	12,4
		1	11,4	13,6
		2	18,5	21,4
Yapay	0	0	8,9	12,7
		1	7,3	11,4
		2	9,5	14,1
	25	0	10,5	14,0
		1	12,3	14,7
		2	12,8	16,4



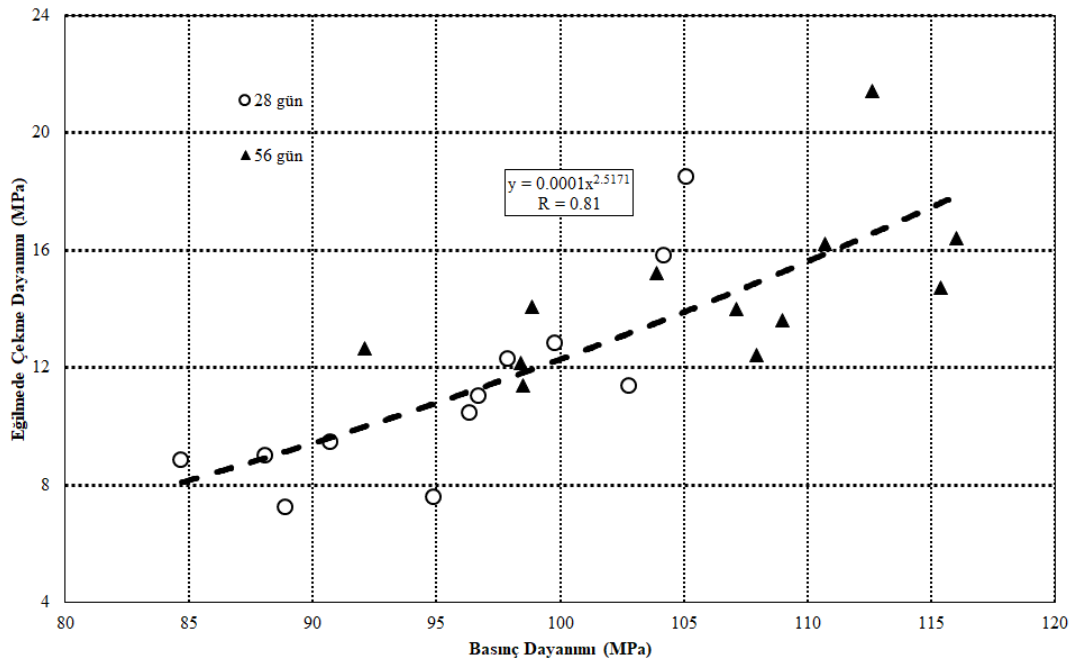
Şekil 4.2. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Beklenildiği üzere lif oranı artışı bir karışım (%1 lif içeriğine sahip mikrosilikasız ve %20 ikame yapay agregaya içeren) hariç diğer tüm karışımların eğilmede çekme dayanımı değerlerini arttırmıştır. Lif ve mikrosilika etkisiyle elde edilen eğilmede çekme dayanım değerleri % 100 doğal agregaya içeren karışımlarda 28 gün için 7,6-18,5 MPa aralığında 56 gün için 12,1 – 21,42 MPa aralığında değişirken, yapay agregaya içeren karışımlarda bu değerler 28 gün için 7,26 – 12,84 MPa aralığında 56 gün için ise 11,41-16,4 MPa aralığında değişmektedir.

Mikrosilika miktarının %25 oranında eklenmesi eğilmede çekme dayanım sonuçlarını iyileştirmiştir. Mikrosilikanın kullanımının dayanım üzerindeki en büyük etkisi (%32,06 oranında) 56 günde lif oranının %2 olarak belirlendiği %100 doğal agregaya içeren karışımda görülmüştür. Maksimum eğilmede çekme dayanımı 56 günde, %2 lif oranı, %25 mikrosilika miktarı ve %100 doğal agregaya içeren karışım ile 21,42 MPa olarak elde edilmiştir. Gao ve ark., (1997) yüksek dayanımlı hafif beton üzerinde yapılan çalışmalarında %2 oranında fiber kullanılmasının elde edilen

eğilmede çekme dayanım değerlerini fibersiz beton ile kıyaslandığında 4,95 ile 8,8 MPa aralığında arttırdığını göstermişlerdir. Ayrıca çalışmada, yüksek dayanımlı hafif betonun eğilmede çekme dayanım değerlerinin artması için %1 oranından daha yüksek oranlarda çelik lif kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Afroughsabet ve Özbakkaloğlu, (2015) ise çalışmalarında, normal ağırlıklı beton üretiminde çelik ve polipropilen lifin birlikte kullanılması halinde %1 oranında lif eklenmesinin eğilmede çekme dayanım değerlerini oldukça arttırdığını belirtmişlerdir. Yazıcı ve ark., (2007) çalışmalarında %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında lif kullanımının %11 ile %54 aralığında eğilmede çekme dayanım değerlerini arttırdığını belirtmişlerdir.

Şekil 4.3.'te 28 ve 56 günlük eğilmede çekme dayanımı ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.3. Basınç ve çekme dayanımı değerleri arasındaki korelasyon

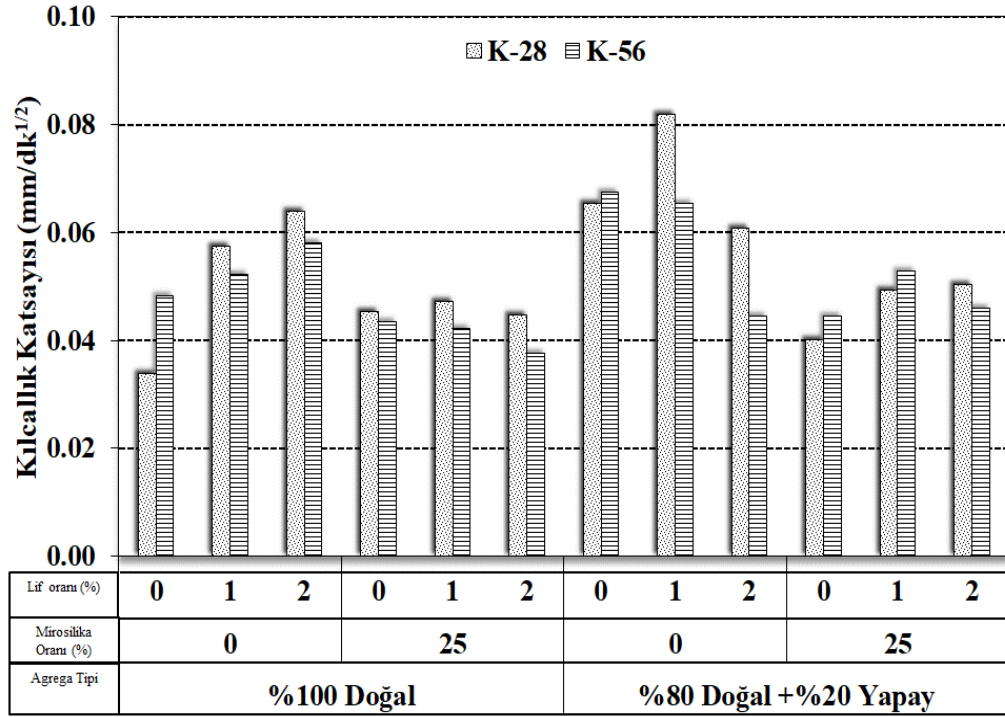
DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen verileri temsil eden eğri çizilmiştir. Elde edilen bu eğrinin denklemi ve 0,8 olarak elde edilen R korelasyon katsayısı sunulmuştur. R korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında değişebilmektedir. -1'e yakın olması parametreler arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu gösterirken, 1'e yakın olması aradaki ilişkinin güçlü olması ile açıklanmaktadır. R değerinin 0 olarak elde edilmesi halinde ise herhangi bir ilişki olmadığı sonucuna varılmaktadır. Bu

çalışmada 0.81 olarak elde edilen R korelasyon katsayısı eğilmede çekme dayanımı ile basınç dayanımı değerleri arasında iyi bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Kılcallık betonun mikro yapısına bağlı olarak suyun emilme ve taşınma yeteneğidir. Elde edilen sonuçlar daha çok betondaki boşlukların dağılımı ve yapısından etkilenmektedir (Ramadoss ve ark., 2008). Başlangıçta elde edilen birincil kılcallık değerleri kapiler boşluklara bağlı iken, ikincil kılcallık değerleri jel boşlukları tarafından kontrol edilmektedir (Martys ve Ferraris, 1997). Çizelge 4.3.'te her bir karışımın 28 ve 56 gün için kılcallık katsayısı değerlerine yer verilmiştir. Şekil 4.4.' de ise mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük kılcallık katsayılarının karşılaştırıldığı grafik verilmektedir.

Çizelge 4.3. Kılcal su geçirimliliği sonuçları

Agrega	MS	Fiber	K-28	K-56
Doğal	0	0	0,034	0,048
		1	0,058	0,052
		2	0,064	0,058
	25	0	0,045	0,044
		1	0,047	0,042
		2	0,045	0,038
Yapay	0	0	0,065	0,068
		1	0,082	0,065
		2	0,061	0,045
	25	0	0,040	0,045
		1	0,049	0,053
		2	0,050	0,046



Şekil 4.4. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük kılcallık katsayılarının karşılaştırılması

Lif oranı artışı %100 doğal agregaya içeren mikrosilikasız karışımların kılcallık katsayısı değerlerinin artışına sebep olmuştur. Bu artış %1 lif eklenmesi halinde 28 gün için %70,11 oranında 56 gün için %8,3 oranında, %2 lif eklenmesi halinde ise 28 ve 56 gün için sırasıyla %89,2 ve %20,54 oranlarında elde edilmiştir. Mikrosilika eklenmesi sonucunda ise kılcallık katsayılarında düşüş gözlenmiştir. Bu durum oldukça küçük boyutlara sahip olan mikrosilikanın boşlukları doldurması sonucu ortaya çıkan kısıtlı boşluk bağlantısı ve azalan boşluk miktarı ile ilişkilendirilebilmektedir. 28 gün ile 56 gün için kılcallık değerleri arasında en büyük fark %1 lif oranı içeren mikrosilikasız yapay agregalı karışımlarda görülmüştür.

Genel olarak bakıldığında 28 gün için en yüksek kılcallık katsayılarını %1 lif oranına sahip karışımlar ile elde edilirken 56 günde değerler farklılık göstermektedir. Kılcallık katsayıları 28 gün için 0,0338-0,06395 aralığında 56 gün için 0,0376-0,0581 aralığında değişir iken %20 yapay agregaya içeren karışımlarda bu değerler 28 ve 56 günleri için sırasıyla 0,04020-0,08195 ile 0,0445-0,0675 aralığında değişmektedir. %20 oranında ikame olarak yapay agregaya kullanımı mikrosilikasız karışımlarda (%2 lif içeren karışım hariç) kılcallık katsayısı değerlerini arttırırken,

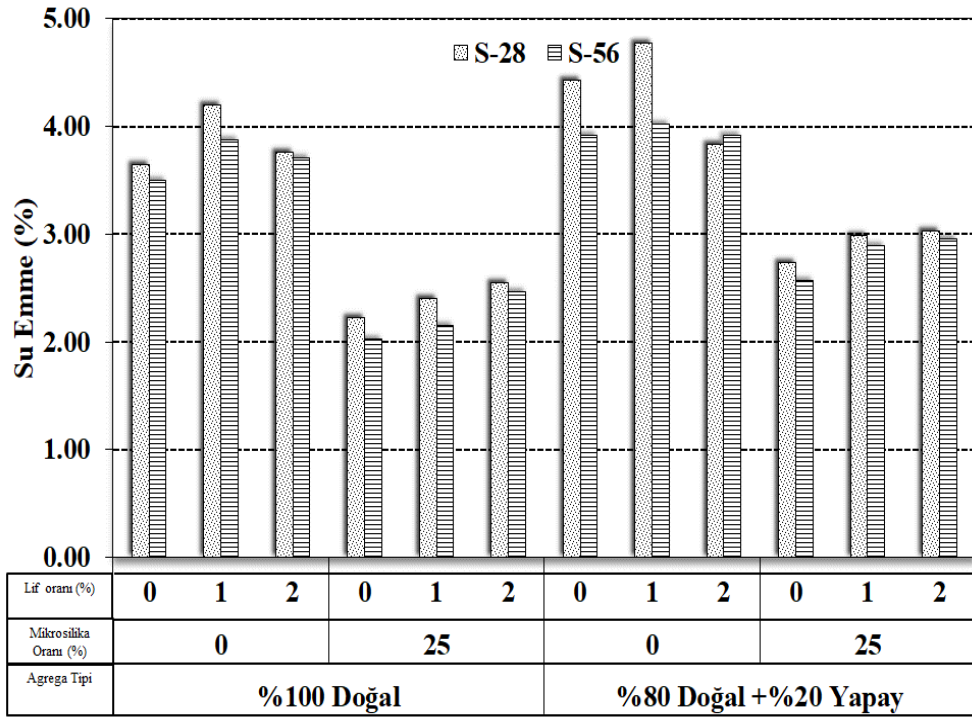
mikrosilika içeren karışımlarının üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Minimum kılcallık katsayısı lifsiz, mikrosilika ve yapay agregaya içermeyen kontrol karışımı ile elde edilmiştir.

Mo ve ark., (2017) tarafından %0,5 oranında çelik elyaf içeren hafif betonun geçirgenlik özelliklerinde bozulma olmaz iken, % 0,75 ve % 1,0 oranlarında çelik elyaf hacminin daha fazla arttırılmasının betonun su emme ve emilim değerlerinde artışa neden olduğu bulunmuştur. Kachouh ve ark., (2019) su absorpsiyonu ve başlangıçtaki kılcallık sonuçlarının, her %10 geri dönüştürülmüş agregaya değişim yüzdesi için yaklaşık %8 oranında arttığını belirtmişlerdir. Gerçekleştirilen aynı çalışmada çelik lif eklenmesi ile ilgili olarak, eklenen her %1 çelik lif oranı için su emiliminin ve başlangıçtaki kılcallığın sırasıyla yaklaşık %7,5-9 aralığında azalması neticesinde geri dönüştürülmüş agregaya içeren betonunun sertleştirilmiş özelliklerinin geliştirildiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Betonun dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerden biri betonun agresif iyonların girişine karşı olan direncidir. Su emme betonun özelliklerini dolaylı olarak gözenekliliğini gösterir, ayrıca betonun içindeki geçirgen gözenek hacmi ve bu gözenekler arasındaki bağlantı hakkında bilgi verebilmektedir (Sanal, 2018). Çizelge 4.4.' te, elde edilen numunelerin su emme (%) değerlerine yer verilmiştir. Şekil 4.5.' de ise mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük su emme değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmektedir.

Çizelge 4.4. Toplam su emme sonuçları

Agrega	MS	Fiber	S-28	S-56
Doğal	0	0	3,641	3,495
		1	4,198	3,880
		2	3,755	3,710
	25	0	2,224	2,030
		1	2,402	2,152
		2	2,553	2,467
Yapay	0	0	4,426	3,918
		1	4,770	4,020
		2	3,834	3,922
	25	0	2,737	2,573
		1	2,992	2,891
		2	3,027	2,951



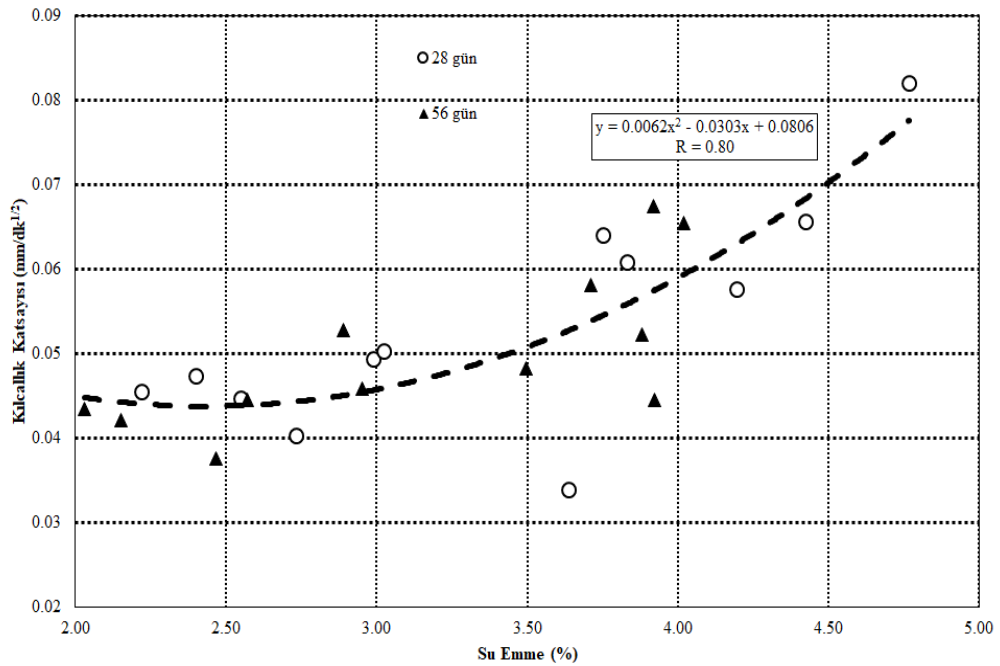
Şekil 4.5. Mikrosilikalı ve yalın YÇEK'lerin 28 ve 56 günlük su emme değerlerinin karşılaştırılması

Lif oranı değişiminin su emme değerlerinde bariz bir etkisi bulunmazken mikrosilika kullanımı yine boşluk yapısını iyileştirmesi sebebiyle su emme (%) değerlerini oldukça düşürmüştür. Doğal agregaya yerine %20 oranında yapay agregaya içeren karışımların su emme (%) değerleri %100 doğal agregaya içeren karışımlarinkine göre 28 ve 56 gün için sırasıyla yaklaşık olarak %0,0786-%0,785 ve %0,14-%0,739 aralığında artmıştır. Bu durum kullanılan yapay agreganın boşluk yapısı ile ilişkilendirilebilmektedir. Minimum su emme değerine (%2,22 oranında) 28 gün için mikrosilika ve doğal agregaya içeren karışımlar ile ulaşılırken, maksimum değer (%4,77 oranında) mikrosilikasız yapay agregalı karışımlar ile elde edilmiştir. Su emme değerlerinin %3'den az olması, %3-%5 arasında olması ve %5'den fazla olması halinde beton sırasıyla kendi içerisinde göreceli olmak kaydı ile iyi, orta ve kötü kalite olarak sınıflandırılabilir.

Kachouh ve ark., (2019) doğal agregaya yerine ikame olarak geri dönüştürülmüş agreganın kullanımının çelik lif takviyeli betonun su emme ve kılcallık değerlerini

arttırdığını belirtmişlerdir. Afroughsabet ve Özbakkaloğlu, (2015) yüksek dayanımlı lif takviyeli beton üretiminde çimento yerine mineral katkı olarak %10 oranında silis dumanı kullanmışlardır. Silis dumanı miktarındaki artışın su emme değerlerinde %36 oranında düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yine aynı çalışmada, polipropilen lif miktarının %0,3' ten % 0,45'e çıkarılması halinde su emme değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir ve bu durum yazarlar tarafından geçiş bölgesinin kalınlığının artması ile ilişkilendirilmiştir.

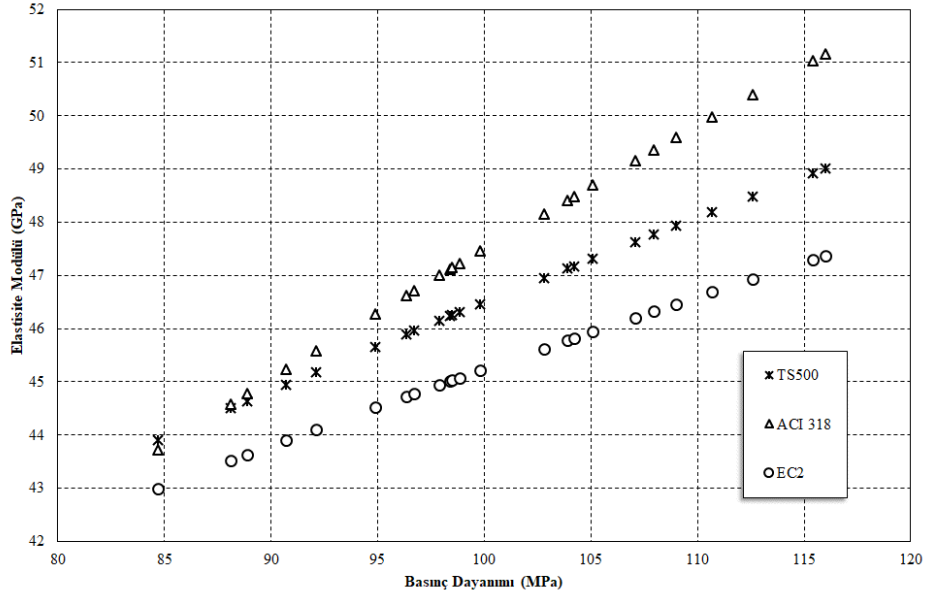
Şekil 4.6.'da 12 farklı karışım oranlarına sahip numunelerin su emme ve kılcallık katsayısı değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir 28 ve 56 gün için elde edilen sonuçlar en iyi şekilde temsil eden bir eğri çizilerek ilişkiyi ifade eden denklem sunulmuştur.



Şekil 4.6. Su emme ve kılcallık katsayısı değerleri arasındaki korelasyon

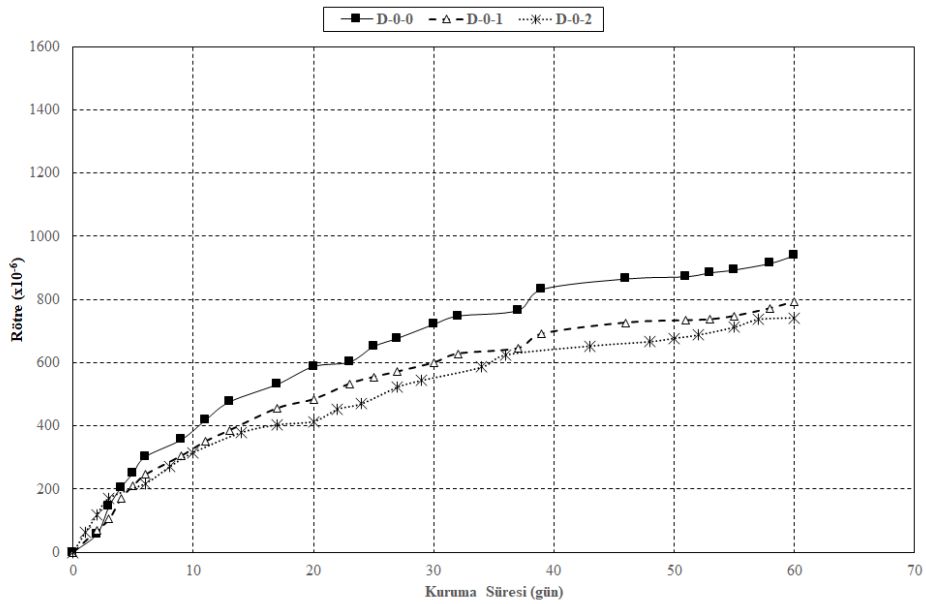
Şekil 4.7.'de tasarım kodlarında yer alan 3 farklı bağıntı kullanılarak numunelerin elde edilen dayanım değerlerinin dikkate alınması ile bulunan elastisite modülleri gösterilmiştir. Dayanım değerinin "0" olması halinde bile EC2 (Denklem 2) bağıntısı ile 19 GPa TS500 bağıntısı ile ise 14 GPa elastisite modülü değerleri elde edilmektedir. Bu durum sebebiyle en doğru sonuca ACI 318 bağıntısı ile ulaşılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca şekil 4.7. incelendiğinde en yüksek değerlere

AC318 bağıntısı ile ulaşılabilirken en düşük değerlerin EC2 (Denklem 2) bağıntısı ile elde edildiği görülmektedir.

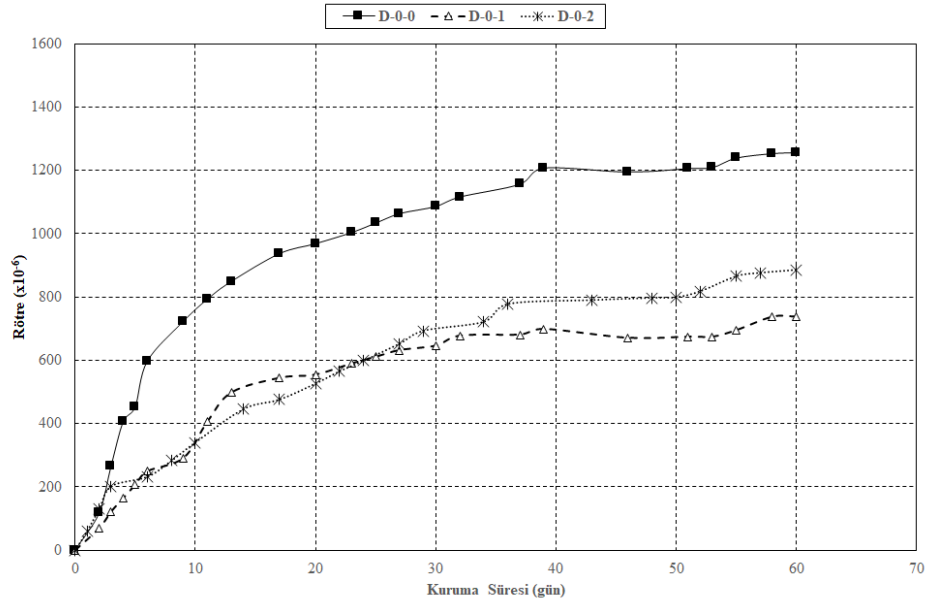


Şekil 4.7. Tasarım kodlarında yer alan bağıntılara göre YÇEK'lerin elastisite modülü değerleri

Doğal agrega içeren mikrosilikasız karışımlarda lif miktarının 60 günlük periyotta ötojen ve kuruma rötre değerleri üzerindeki etkisine sırasıyla Şekil 4.8. (a) ve (b)'de yer verilmiştir.



(a)



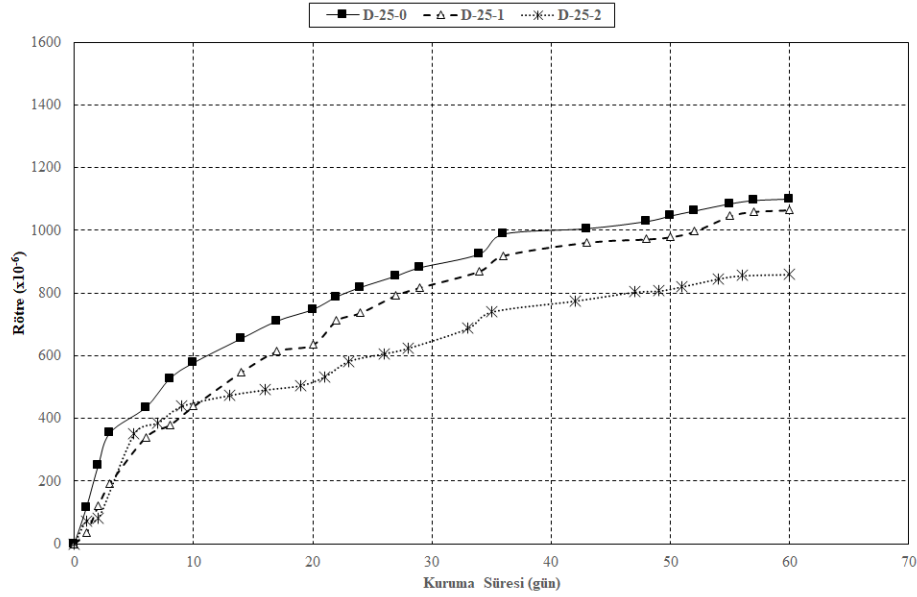
(b)

Şekil 4.8. Yapay agrega ve mikrosilika bulundurmeyan YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötresi değerlerinin zamana göre değişimleri

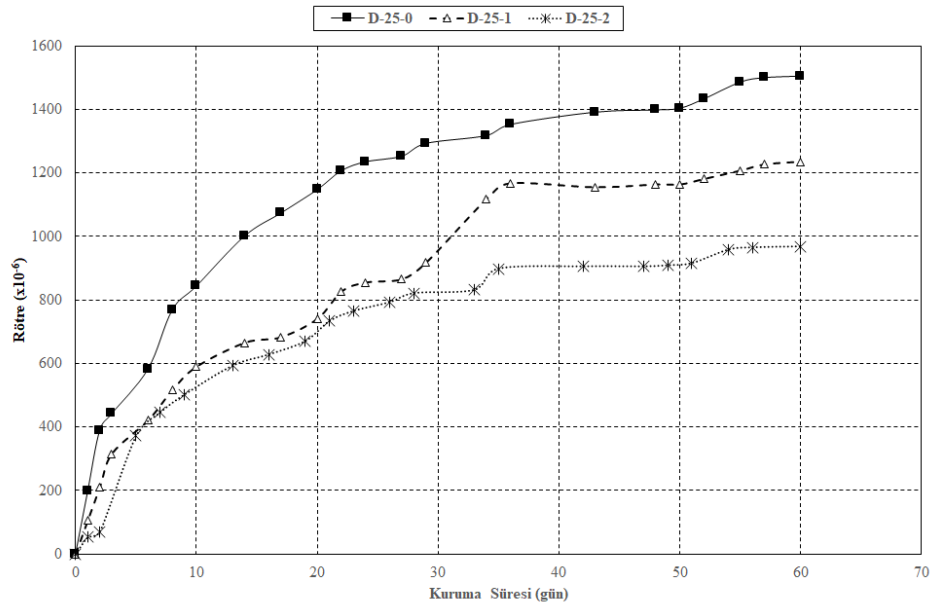
Lif miktarının artışı ötojen rötre değerlerini azaltırken kuruma rötresi için en düşük değerlere %1 oranında çelik lif içeren karışım ile ulaşılmıştır. Lif miktarının arttırılmasının özellikle kuruma rötresi sonuçlarına fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Maksimum ile minimum ötojen ve kuruma rötre değerleri sırasıyla 1000 ile 800 mikro deformasyon ve 1200 ile 800 mikro deformasyon olarak elde edilmiştir.

Kaikea ve ark. (2014); Mangat ve Azari, (1984) lif miktarındaki artışın betonun özellikle 28 günlük rötre değerlerinde önemli azalmalara sebep olduğu sonucuna varmışlardır. Lifsiz betonun rötre değerleri ile kıyaslandığında, %1 oranında lif içeren betonun %4-9 aralığında, %2 oranında kullanımının ise %15-24 aralığında daha az rötre sonuçları verdiği belirtilmiştir. Mo ve ark., (2017) çalışmalarında %1 oranında çelik lif kullanımı ile hafif betonun rötre değerlerinin %21 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

Şekil 4.9. (a) ve (b)'de %25 oranında mikrosilika içeren karışımlarda lif miktarının ötojen ve kuruma rötreleri üzerindeki etkisine yer verilmiştir.



(a)



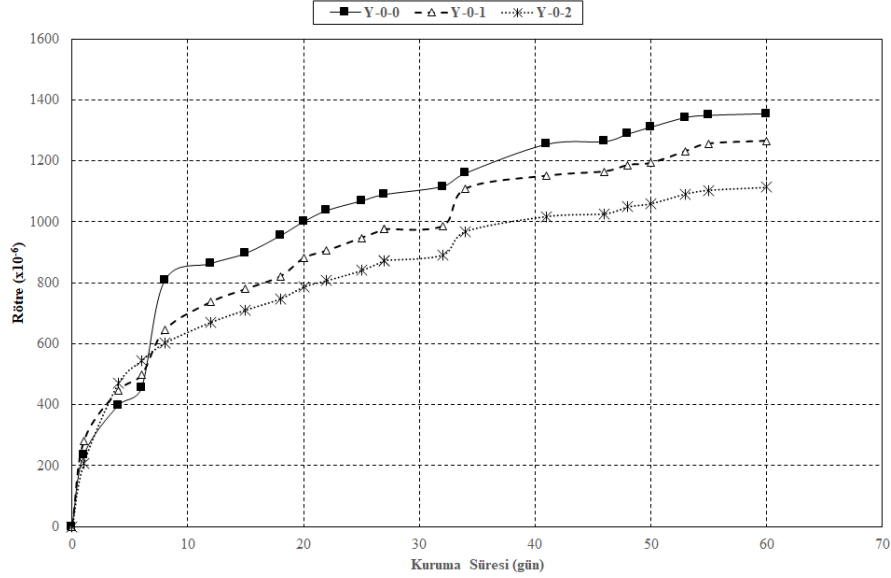
(b)

Şekil 4.9. Yapay agregat bulundurmayan ve %25 mikrosilika içeren YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötreleri değerlerinin zamana göre değişimleri

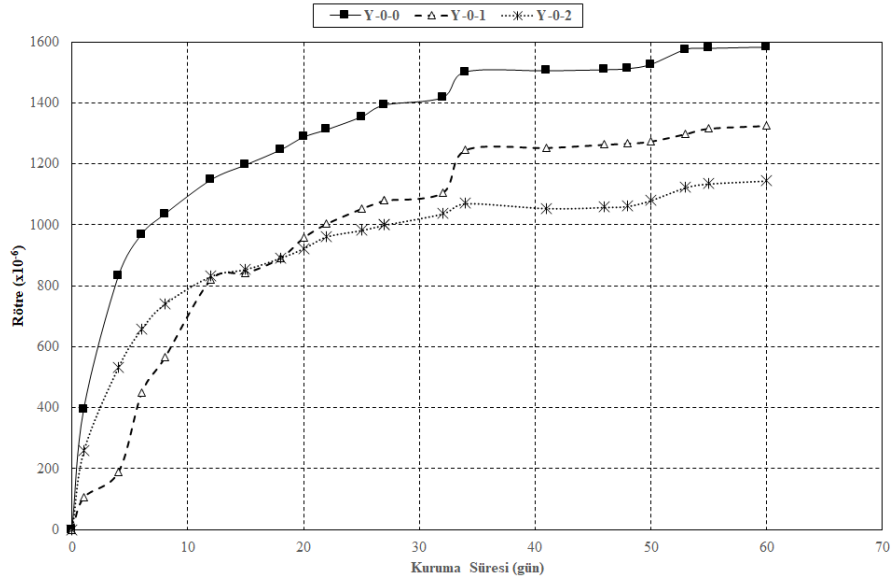
Mikrosilika eklenmesi tüm sonuçlarda dalgalanmalara sebep olurken, ötojen rötre sonuçları ile kıyaslandığında kuruma rötre değerleri üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Lif miktarı değişimi de yine kuruma rötre sonuçlarında daha belirgin bir fark oluşmasına neden olmuştur. Mikrosilikalı karışımlarda maksimum ve

minimum ötojen ve kuruma rötre değerleri sırasıyla 1100 ile 900 mikro deformasyon ve 1500 ile 1000 mikro deformasyon olarak bulunmuştur.

Şekil 4.10. (a) ve (b)'de yapay agrega içeren mikrosilikasız karışımlarda lif miktarının sırasıyla ötojen ve kuruma rötreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.



(a)

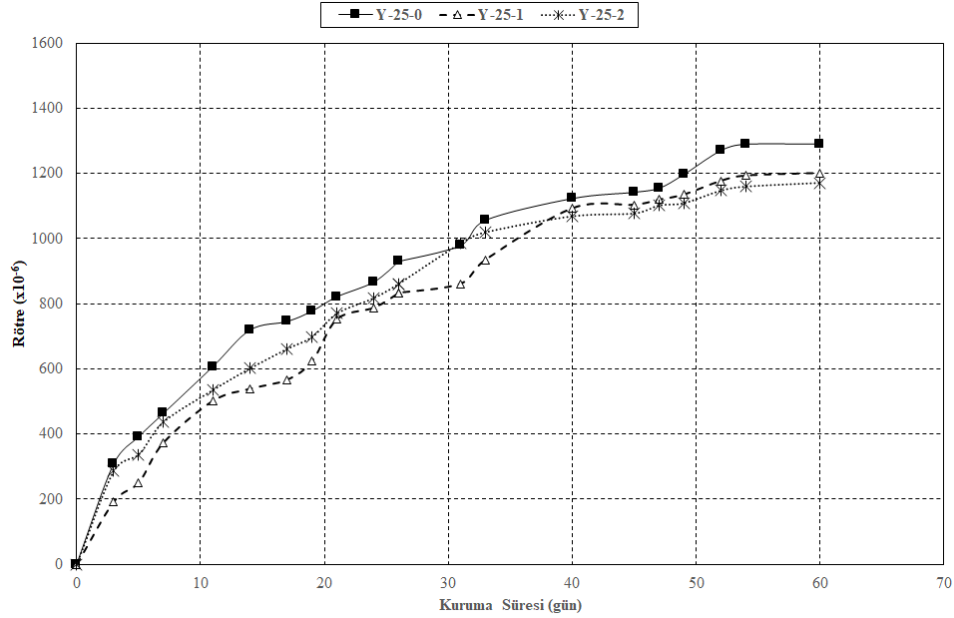


(b)

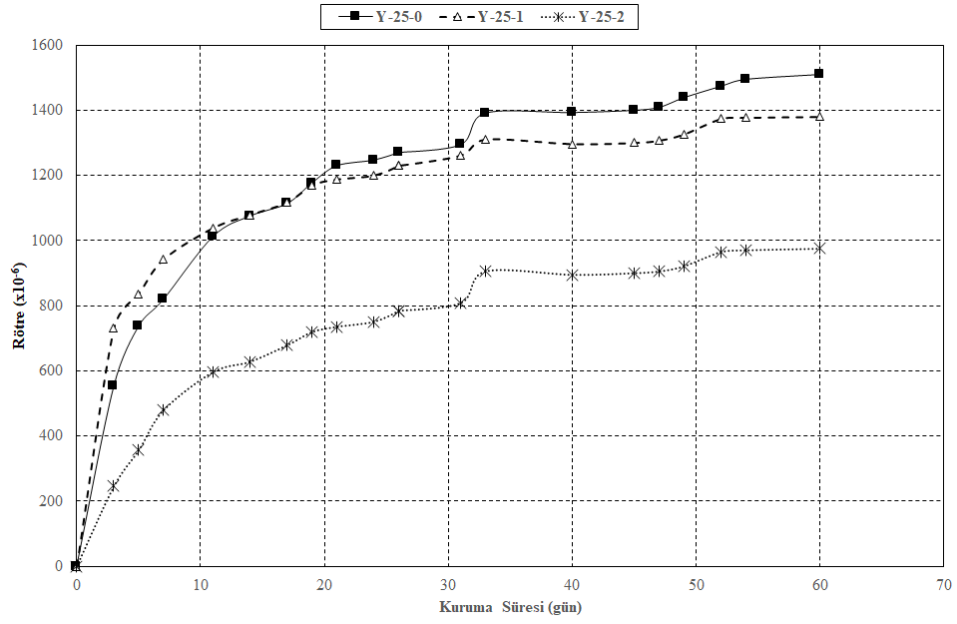
Şekil 4.10. Yapay agrega içeren fakat mikrosilika bulunmayan YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötreleri değerlerinin zamana göre değişimleri

Erken yaşta kullanılan yapay agrega etkisiyle lif miktarının etkisi net bir şekilde görülmezken, yaklaşık bir haftalık süre sonrasında lif oranı artışı ile rötre değerlerinde belirgin bir azalış görülmektedir. Ötojen ve kuruma rötre değerleri için elde edilen maksimum ile minimum değerler sırasıyla 1400 ile 1100 ve 1600 ile 1150 mikro deformasyon olarak belirlenmiştir. Kayalı ve ark., (1999) %10 oranında silis dumanı ve %25 oranında uçucu kül içeren hafif betonda polipropilen ve çelik lif kullanımının etkisini incelemişlerdir. Hafif agrega kullanımının rötre değerlerini yaklaşık 2 kat arttırdığını, lif kullanımının ise azaltıcı etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Şekil 4.11. (a) ve (b)'de değişen lif oranlarına bağlı olarak hem yapay hem de mikrosilika içeren karışımların rötre değerleri incelenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.11. Yapay agrega içeren ve %25 mikrosilika bulunan YÇEK'lerin a) Ötojen rötre ve b) Kuruma rötresi değerlerinin zamana göre değişimleri

Tüm lif oranları için ötojen rötre sonuçları oldukça yakın değerler olarak elde edilirken, %2 oranında lif kullanımı kuruma rötre değerlerini oldukça düşürmüştür. Ötojen rötre sonuçlarına göre maksimum ve minimum değerler sırasıyla 1300 ile 1200 mikro deformasyon olarak elde edilirken kuruma rötresi için bu değerler sırasıyla 1500 ile 1000 mikro deformasyon olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezin deneysel sonuçlarından ve bu sonuçların tartışılmasından elde edilen özet bulgular aşağıda sıralanmıştır.

1. Yapay agregaya içeren karışımlarda mikrosilikanın dayanım üzerindeki etkisi daha belirgin olmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde tüm lif oranları için mikrosilika miktarının artışının da dayanım değerleri üzerinde olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir.
2. Lif oranı artışı ile tüm karışımlarda 28 ve 56 günlük dayanım değerlerinin arttığı görülmüştür. %100 doğal agregaya içeren mikrosilikasız karışımlarda lif miktarının %1'den %2'ye çıkarılması 28 ve 56 günlük dayanım değerlerinde önemli artışlara sebep olmuştur.
3. Lif oranı artışı genel olarak tüm karışımların eğilmede çekme dayanımı değerlerini arttırmıştır. Lif ve mikrosilika etkisiyle elde edilen eğilmede çekme dayanım değerleri % 100 doğal agregaya içeren karışımlarda 28 gün için 7,6-18,5 MPa aralığında 56 gün için 12,1 – 21,42 MPa aralığında değişirken, yapay agregaya içeren karışımlarda bu değerler 28 gün için 7,26 – 12,84 MPa aralığında 56 gün için ise 11,41-16,4 MPa aralığında değişmektedir.
4. Mikrosilikanın kullanımının dayanım üzerindeki en büyük etkisi %32.06 oranında 56 günde lif oranının %2 olarak belirlendiği %100 doğal agregaya içeren karışımda görülmüştür.
5. Mikrosilikanın mekanik özellikler üzerinde belirtilen bu önemli etkileri bu malzemenin yüksek pozolanik reaktivitesi, mikrodolgu etkisi ve çimento taneciklerinin sistem içerisinde daha iyi yayılmasını sağlamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.
6. Lif oranı artışı %100 doğal agregaya içeren mikrosilikasız karışımların kılcallık katsayısı değerlerinin artışına sebep olmuştur. Bu artış %1 lif eklenmesi halinde 28 gün için %70,11 oranında 56 gün için %0,83 oranında, %2 lif eklenmesi halinde ise 28 ve 56 gün için sırasıyla %89,2 ve %20,54 oranlarında elde edilmiştir. Mikrosilika eklenmesi sonucunda ise kılcallık katsayılarında düşüş gözlenmiştir. Bu durum oldukça küçük boyutlara sahip

olan mikrosilikanın boşlukları doldurması sonucu ortaya çıkan kısıtlı boşluk bağlantısı ve azalan boşluk miktarı ile ilişkilendirilebilmektedir.

7. Lif oranı değişiminin su emme değerlerinde bariz bir etkisi bulunmazken mikrosilika kullanımı yine boşluk yapısını iyileştirmesi sebebiyle su emme (%) değerlerini oldukça düşürmüştür. Doğal agregaya yerine %20 oranında yapay agregaya içeren karışımların su emme (%) değerleri %100 doğal agregaya içeren karışımlarinkine göre 28 ve 56 gün için önemsiz sayılabilecek mertebelerde azalma olmuştur.
8. Tamamı doğal agregaya içeren mikrosilikasız karışımlarda lif miktarının 60 günlük periyotta ötojen ve kuruma rötre değerleri incelendiğinde lif miktarının artışı ötojen rötre değerlerini azaltırken kuruma rötresi için en düşük değerlere %1 oranında çelik lif içeren karışım ile ulaşılmıştır. Lif miktarının arttırılmasının özellikle kuruma rötresi sonuçlarına fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Maksimum ile minimum ötojen ve kuruma rötre değerleri sırasıyla 1000 ile 800 mikro deformasyon ve 1200 ile 800 mikro deformasyon olarak elde edilmiştir.
9. %25 oranında mikrosilika içeren karışımlarda lif miktarının ötojen ve kuruma rötreleri değerlendirildiğinde mikrosilika eklenmesi tüm sonuçlarda dalgalanmalara sebep olurken, ötojen rötre sonuçları ile kıyaslandığında kuruma rötre değerleri üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Lif miktarı değişimi de yine kuruma rötre sonuçlarında daha belirgin bir fark oluşmasına neden olmuştur.
10. Yapay agregaya içeren mikrosilikasız karışımlarda lif miktarının sırasıyla ötojen ve kuruma rötreleri üzerindeki etkisi incelendiğinde erken yaşta kullanılan yapay agregaya etkisinden dolayı lif miktarının etkisi net bir şekilde görülmezken, yaklaşık bir haftalık süre sonrasında lif oranı artışı ile rötre değerlerinde belirgin bir azalış görülmektedir.
11. Değişen lif oranlarına bağlı olarak hem yapay hafif agregaya hem de mikrosilika içeren karışımların rötre değerleri irdelendiğinde tüm lif oranları için ötojen rötre sonuçlarının oldukça yakın değerler aldığı, %2 oranında lif kullanımının ise kuruma rötre değerlerini oldukça düşürdüğü gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ABBASS, W., KHAN, M.I., and MOURAD, S., 2018. Evaluation of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete with different strengths of concrete. *Construction and Building Materials*, 168: 556–569.
- AFROUGHSABET, V., and ÖZBAKKALOĞLU, T., 2015. Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 94: 73–82.
- ALTUN, F., 2006. Çelik Lifli Hafif Betonun Deneysel Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3): 333-339.
- ALTUN, F., ve AKTAŞ, B., 2011. Çelik Tel Katkılı Hafif Betonun Eğilme Tokluğunun İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2): 27-33.
- BARADAN, B., TÜRKEL, S., YAZICI, H., ÜN, H., YİĞİTER, H., FELEKOĞLU, B., TOSUN FELEKOĞLU, K., AYDIN, S., YARDIMCI, M.Y., TOPAL, A., ÖZTÜRK, A.U., 2015. Beton. Dokuz eylül üniversitesi, mühendislik fakültesi yayınları No: 334, İzmir, 824s.
- BEYÇİOĞLU, A., BAŞYİĞİT, C., ve KILINÇARSLAN, Ş., 2010. Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Silis Dumanının Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2): 200-205.
- ÇAĞATAY, İ.H., 2007. Çelik lif katkılı normal ve yüksek mukavemetli betonların mekanik davranışlarının incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1): 137-147.
- ÇİÇEK, H., ve GÖNÜL, İ.A., 2018. Skoria agregası ile yüksek dayanımlı yarı hafif beton üretim olanakları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 9(1): 439-450.
- DEMİR, İ., ARUNTAŞ, H.Y., ve ŞİMŞEK, O., 2007. Beton Üretiminde Süper Akışkanlaştırıcı Çeşidi Ve Oranının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4): 829-835.
- DEMİREL, B., ve YAZICIOĞLU, S., 2007. Silis Dumanının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1): 103-109.
- DİNÇER, R., ve ÇAĞATAY, İ.H., 2004. Uçucu kül, çelik lif ve pomza içeren betonların mekanik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2): 261-279.
- EFNARC, 2002. Specifications and Guidelines for SelfCompacting Concrete. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, February, 32.
- ESEN, Y., 2003. Poliakrilonitril Lifi Takviyeli Betonlarda Süneklilik Ve Rötire Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları* 3, Muş, 108-112.
- GAO, J., SUQA, W., and MORİNO, K., 1997. Mechanical Properties of Steel Fiber-reinforced High-strength, Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 19: 307-313.

- GEÇTEN O., ve GÜL R., 2013. Pomza ve Normal Agregalı Betonların Kılcal Geçirirliiği ve Basınç Dayanımları Üzerine Kürün Etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi-Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2): 29-36.
- GENÇEL, O., UYGUNOĞLU, T., ve ÜNAL, O., 2007. Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi-Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1): 23-30.
- GÖDEK, E., KESKİNATEŞ, M., FELEKOĞLU, B., ve TOSUN FELEKOĞLU, K., 2016. Çimento Esaslı Lifli Kompozitlerde Su/Çimento Oranı Ve Mineral Katkı Türünün Çoklu Çatlak Davranışına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi-Fen ve Mühendislik Dergisi, 18(54): 440-454.
- HÜSEM, M., ve DEMİR, S., 2013. Çelik ve polipropilen liflerin geleneksel ve yüksek performanslı betonlarda kırılma ve çatlak gelişimine etkisi. Engineering Sciences, 8(4): 182-193. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/nwsaeng/issue/19848/212588>
- KACHOUH, N., EL-HASSAN, H., and EL-MAADDAWY, T., 2019. Effect of steel fibers on the performance of concrete made with recycled concrete aggregates and dune sand. Construction and Building Materials, 213: 348–359.
- KAIKEA, A., ACHOURA, D., DUPLAN, F., and RIZZUTI, L., 2014. Effect of mineral admixtures and steel fiber volume contents on the behavior of high performance fiber reinforced concrete. Mater Des, 63493–499.
- KAYALI, O., HAQUE, M.N., and ZHU, B., 1999. Drying shrinkage of fibre-reinforced lightweight aggregate concrete containing fly ash. Cement and Concrete Research, 29(11): 1835-1840.
- KHANJARKHANI, A., 2014. Ham Perlit Agregası İle Üretilen Hafif Betonun Asitlere Karşı Dayanıklılığı (H₂SO₄, HNO₃). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 93s.
- KOZAK, M., 2013. Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 3(5): 26-35.
- MANGAT, P.S., and Azari, M.M., 1984. A theory for the free shrinkage of steel fibre reinforced cement matrices. J Mater Sci, 19(7): 2183–2194.
- MARTYS, N.S., and FERRARIS, C.F., 1997. Capillary transport in mortars and concrete. Cem. Concr. Res., 27 (5): 747–760.
- MO, K.H., GOH, S.H, ALENGARAM, U.J., VISINTIN, P., and JUMAAT, M.Z., 2017. Mechanical, toughness, bond and durability-related properties of lightweight concrete reinforced with steel fibres. Materials and Structures, 50:46.
- ÖZCAN, F., ve ATİŞ, C.D, 2017. Silis Dumanı İle Üretilen Harçların Karbonatlaşma ve Rötire Özellikleri. Ömer Halisdemir Üniversitesi- Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2): 634-641.
- PEKMEZCİ, B.Y., UYAN, M., ve AKMAN, M.S., 2007. Yüksek performanslı çimentolu ürünlerin hamur fazının otojen rötire özellikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi- Mühendislik Dergisi, 6(4): 49-60.

- RAMADOSS, P., and NAGAMANI, K., 2008. Tensile strength and durability characteristics of high-performance fiber reinforced concrete. Arab. J. Sci. Eng., 41 (17): 307–319.
- SANAL, I., 2018. Performance of macrosynthetic and steel fiber-reinforced concretes emphasizing mineral admixture addition. J. Mater. Civ. Eng., 30 (6): 04018101.
- SANCAK, E., ve ÜNAL, O., 2000. Hafif betonda çelik lif kullanımının beton özelliklerine etkisi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1): 79-88.
- SERİN, G., ÇANKIRAN, O., BAŞYİĞİT, C., TAŞ, H.H., ve FENKLİ, M., 2007. Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1: 15 22.
- SERVATMAND A., ve ŞİMŞEK, O., 2018. Yüksek Performanslı Harç Üretiminde Optimum Nano Malzeme Oranlarının Belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 21(2): 327-332.
- SONG, P.S., and HWANG S., 2004. Mechanical properties of high strength steel fiber-reinforced concrete. Constr Build Mater, 18(9): 669–673.
- SUBAŞI, S., 2009. Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton üretimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(3): 559-567.
- SÜMER, M., ve SÖYLER, B., 2002. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Çimento Ve Süper akışkanlaştırıcı Beton Katkı Maddelerinin Etkinliği. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(3): 15-20.
- ŞİMŞEK, O., DUR, A., ve YAPRAK, H., 2004. Silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkılı harçların özellikleri. Politeknik Dergisi, 7(2): 0-0.
- ŞİMŞEK, O., ERDAL, M., ve SANCAK, E., 2005. Silis dumanının çelik lifli betonun eğilme dayanımına etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2): 211-215.
- TAŞDEMİR, M.A., ve BAYRAMOV, F., 2002. Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 1(2): 125-144.
- TOKGÖZ, S., ve DÜNDAR, C., 2015. Yüksek Dayanımlı Çelik Lifli Kompozit Kolonların Yapısal Davranışının İncelenmesi. 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, 9-11 Aralık, Eskişehir, 267-276.
- TOKLU, K., ŞİMŞEK, O., ve BAHARAVAR, S., 2017. Uçucu Kül İçeren Yüksek Performanslı Güçlendirme Harcında Nano Silikatın Etkisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(1): 38-46.
- TÜRKER, K., BİROL, T., YAVAŞ, A., ve HASGÜL, U., 2016. Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İçeren Kirişlerde Etkin Çelik Lif Tipi İncelemesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16: 776 785.
- TÜRKEL, S., ve YİĞİTER, H., 2004. Çelik Lif Kullanımının Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğine Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi-İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- ÜNAL, O., UYGUNOĞLU, T., ve DEMİR İ., 2003. Pomza Ve Diyatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. 3. Ulusal Kırma Taş Sempozyumu, 3-4 Aralık, İstanbul, 107-114.

- YAZICI, S., İNAN, G., ve TABAK, V., 2007. Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC. Constr Build Mater, 21(6): 1250-1253
- YOLCU, C., ve GİRĞİN, Z.C., 2017. Dünyada yapay hafif agregalı yapısal beton uygulamaları ve doğal pomza agreganın kullanılabilirliği. Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 1(2): 59-67.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail GÜNEŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa/1992
Telefon : 0532-174-04-69
E-mail : ismailgnsmuh@gmail.com
ismail.gunes1@sanliurfa.bel.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Süre
Lise	: ÇEAŞ Anadolu Lisesi, Şanlıurfa, Türkiye	2009
Üniversite	: Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye	2014
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye	2019

DENEYİM

Kurum	Görev	Süre
Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi	: İnşaat Mühendisi	2014

YABANCI DİL

İngilizce.