



**T.C.
KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI ADI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**F TİPİ UÇUCU KÜL KULLANIMININ MAFSALLI KİRİŞ DENEYİ İLE
ADERANS ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Abdullah ŞAHİN

**KONYA
EYLÜL 2019**

F TİPİ UÇUCU KÜL KULLANIMININ MAFSALLI KİRİŞ DENEYİ İLE
ADERANS ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Abdullah ŞAHİN

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

KONYA

Eylül, 2019

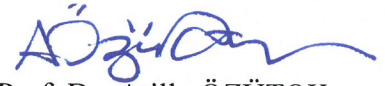
Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK

Anabilim Dalı Başkanı

Abdullah ŞAHİN tarafından hazırlanan F TİPİ UÇUCU KÜL KULLANIMININ MAFSALLI KİRİŞ DENEYİ İLE ADERANS ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma 19.09.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Kamil AKIN

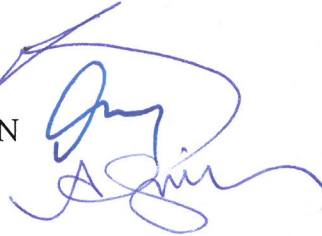
Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Fatih BAHADIR

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Kamil AKIN

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdülkerim İLGÜN



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarımı kabullendiğimi beyan ederim

19.09.2019

Abdullah ŞAHİN

ÖZET

F TİPİ UÇUCU KÜL KULLANIMININ MAFSALLI KİRİŞ DENEYİ İLE ADERANS ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ŞAHİN, Abdullah

Yüksek Lisans- İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Kamil AKIN

Eylül 2019

Beton, basınç dayanımı yüksek fakat çekme ve kayma dayanımı düşük bir yapı malzemesidir. Betonun bu dezavantajı çelik kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Betonun çelik ile birlikte kullanılması betonarme olarak adlandırılır. Bilindiği üzere. Betonarmenin varlığı beton ile donatı arasındaki aderans ile mümkündür. Aderans, beton ile donatı arasında her hangi bir sıyrılma olmadan gerilme aktarılmasıdır.

Bu çalışmada uçucu kül, değişik oranlarda çelik ve polipropilen lif kullanılarak aderansın nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aderans, çelik lif, polipropilen lif, uçucu kül

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE TYPE F FLY ASH USE WITH THE JOINT HINGED TEST

ŞAHİN, Abdullah

M.Sc. Civil Engineering

Ass.Prof. Dr. Süleyman Kamil Akın

September 2019

Concrete is a building material with high compressive strength but low tensile and shear strength. This disadvantage of concrete can be removed from steel pipes. Reinforced concrete is called as reinforced concrete with steel design. As known. Composition of reinforced concrete. Adherence is the transfer of stress between concrete and reinforcement without any detachment. Concrete is a building material with high compressive strength but low tensile and shear strength. This disadvantage of concrete can be removed from steel pipes. Reinforced concrete is called as reinforced concrete with steel design. As known. Composition of reinforced concrete. Adherence is the transfer of stress between concrete and reinforcement without any detachment.

In this study, the effect of fly ash, steel and polypropylene fiber in different proportions was investigated.

Keywords: Adherence, steel fiber, polypropylene fiber, fly ash

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Öğretim Üyesi Dr. Süleyman Kamil AKIN'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve deneysel çalıőmalarda yardımlarından dolayı KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarı görevlisi Rıza ELVAN'a ve çalıőanlarına teőekkürü bir borç bilirim.

Abdullah ŞAHİN

Eylül-2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
2. ADERANS	2
2.1. Aderansın Nedenleri	3
2.2. Aderans Türleri	3
2.2.1. Kenetlenme Aderansı	3
2.2.2. Eğilme Aderansı	5
2.3. Aderans Dayanımını Etkileyen Faktörler	6
2.3.1. Betonun Çekme Dayanımı	6
2.3.2. Çeliğin Akma Dayanımı	6
2.3.3. Çubuğun Yüzey Geometrisi	6
2.3.4. Donatı Çapı	7
2.3.5. Kenetlenme Boyu	7
2.3.6. Pas payı Tabaka Kalınlığı	7
2.3.7. Donatının Konumu	8

2.3.8. Sargı Donatısı	8
2.4. Aderans Deneyleri	8
2.4.1. Çekip Çıkarma (Pull-Out) Deneyi	8
2.4.2. İtip Çıkarma Deneyi	10
2.4.3. Geliştirilmiş Çekip Çıkarma Deneyi	10
2.4.4. Eksantrik Çekip Çıkarma Deneyi	11
2.4.5. Uç Uca Çıkarma Deneyi	11
2.4.6. Ek Çubuklu Uç Uca Çıkarma Deneyi	12
2.4.7. Tek Çubuklu Çekme Deneyi	12
2.4.8. Kiriş Deneyleri	13
2.4.8.1. Bureau Deneyi	13
2.4.8.2. Teksas Deneyi	14
2.4.8.3. Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi	14
2.5. Aderans ile İlgili Kaynak Araştırması	15
3. UÇUCU KÜLLER	17
3.1. Puzolanlar	17
3.2. Uçucu Küller	17
3.2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	17
3.2.1.1. Uçucu Küllerin ASTM C618' e Göre Sınıflandırılması	17
3.2.1.2. Uçucu Küllerin TS EN 197-1' e Göre Sınıflandırılması	18
3.2.2. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri	18
3.2.3. Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri	19
3.2.4. Uçucu Küllerin Betonlarda Karışım Oranlama Metotları	20
3.2.4.1. Uçucu Külün Beton İçerisinde Katkı Olarak Kullanılması (İlave Metodu)	20

3.2.4.2. Uçucu Külün Portland Çimentosu Yerine Uçucu Küllü Çimento Kullanılması (İkame Metodu)	21
3.2.4.2.1. Uçucu Küllerin İkame Metotları	21
3.2.4.2.1.1. Basit İkame Metodu	21
3.2.4.2.1.2. Değiştirilmiş Metodu	21
3.2.4.2.1.3. Rasyonel Metot	22
3.2.5. Uçucu Küllerin Beton Özelliklerine Etkisi	22
3.3. Uçucu Kül İle İlgili Kaynak Araştırması	24
4. LİFLİ BETONLAR	28
4.1. Lif	28
4.2. Lif Çeşitleri	29
4.3. Polipropilen Lifli Betonlar	30
4.3.1. Polipropilen Lifler	30
4.3.2. Polipropilen Lifli Betonların Özellikleri	31
4.4. Çelik Lifli Betonlar	31
4.4.1. Çelik Lifler	31
4.4.2. Çelik Lifli Betonların Sınıflandırılması	32
4.5. Çelik Liflerin Beton İçerisindeki Davranışı	34
4.6. Çelik Lifli Betonların Özellikleri	34
4.7. Çelik Lif İle İlgili Kaynak Araştırması	35
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	37
5.1. Deneylerde Kullanılan Materyaller	38
5.1.1. Agregası	38
5.1.2. Çimento	39
5.1.3. Çelik Lif	39

5.1.4. Polipropilen Lif	40
5.1.5. Uçucu Kül	42
5.1.6. Karışım Suyu	43
5.2. Yapılan Deneyler	44
5.2.1. Çökme (Slump) Deneyi	44
5.2.2. Basınç deneyi	45
5.2.3. Dört Noktalı Eğilme Deneyi	46
5.2.4. Aderans Deneyi	47
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	50
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Elde Edilen Karışımlar	2
Çizelge 3.1. Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonları	19
Çizelge 3.2. Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşimleri Standart Değerleri	20
Çizelge 3.3. Uçucu Külün Beton Özelliklerinde Etkisi	24
Çizelge 4.1. Değişik Cins Liflere Ait Fiziksel Özellikler	30
Çizelge 4.2. Çelik Lifli Betonun Teknik Özellikleri	35
Çizelge 5.1. Elde Edilen Karışımlar	38
Çizelge 5.2. 1 m ³ Beton İçin Kullanılan Agrega Miktarı	38
Çizelge 5.3. Çimentoya Ait Konya Çimento A.Ş. Laboratuvarlarında Bulunan Değerler ve TS EN 197-1'de İstenen Değerler	39
Çizelge 5.4. HE0960 Çelik Liflerin Özellikleri	40
Çizelge 5.5. BF 12 Polipropilen Liflerin Özellikleri	41
Çizelge 5.6. Çatalağzı Uçucu Külünün Kimyasal Analiz	42
Çizelge 5.7. Çatalağzı Uçucu Külünün Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	43

Çizelge 6.1. Elde Edilen Karışımlar	54
Çizelge 6.2. Basınç Deneyi Sonuçları	55
Çizelge 6.12. Dört Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçları	56
Çizelge 6.13. Aderans Deneyi ve Sonuçları	57



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Eğilme aderansı	5
Şekil 2.2. Çekip çıkarma (pull-out) deneyi	9
Şekil 2.3. Kenetlenme boyu sınırlandırılması	10
Şekil 2.4. Geliştirilmiş çekip çıkarma deneyi	10
Şekil 2.5. Eksantrik çekip çıkarma deneyi	11
Şekil 2.6. Uç uca çekme deneyi	11
Şekil 2.7. Ek çubuklu uç uca çekme deneyi	12
Şekil 2.8. Tek çubuklu çekme deneyi	12
Şekil 2.9. Bureau deneyi	13
Şekil 2.10. Teksas deneyi	14
Şekil 2.11. Standart mafsallı Belçika deneyi	15
Şekil 4.1. Çelik lif çeşitleri	33
Şekil 5.1. Çökme deneyi	45
Şekil 5.2. Basınç deneyi	46
Şekil 5.3. Dört noktalı basınç deneyi şeması	46
Şekil 5.4. Dört noktalı basınç deneyi	47
Şekil 5.5. Mafsallı giriş aderans deneyi şeması	48
Şekil 5.6. Mafsallı giriş aderans deneyi	49
Şekil 6.1 Aderansı Tam Olan ve Kırılan Numuneler	53

KISALTMALAR

Kısaltmalar Açıklama

uk	Uçucu kül
st	Çelik Lif
pp	Polipropilen Lif



SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler Açıklama

l_b	Kenetlenme boyu
f_{yd}	Donatının akma dayanımı
f_{ctd}	Betonun çekme dayanımı
Φ	Donatı çapı
σ_e	Numunenin eğilme dayanımı,
F :	Kırılmaya neden olan yük,
L	Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi,
L_i	Uygulanan düşey yük noktaları arası mesafe,
b	Deney numunesinin genişliği,
d	Deney numunesinin kalınlığı.

1. GİRİŞ

Beton; kum, çakıl, çimento ve suyun karışımından oluşan bir yapı malzemesidir. Bu malzemeler belirli oranda karıştırıldığında kalıptan istenilen şekli alabilen plastik bir malzeme elde edilir. Beton karışımlarında kullanılan en önemli malzeme çimentodur. Çimentolar, hidrolik bağlayıcı maddeler olup, su ile karıştırılıp hamur haline getirildikten sonra havada ve suda sertleşerek dayanım kazanır.

Değişik fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklere sahip katkı malzemelerinin çimentoya katkı olarak kullanılması çimento yapısında önemli ölçüde farklılıklara neden olmaktadır. Bu sebeple farklı çimentolar ile üretilen betonların farklı özelliklere ve performanslara sahip olmaları kaçınılmaz olmaktadır.

Bu katkı maddelerinden biri de uçucu küllerdir. Uçucu küller, kömürle çalışan termik santrallerinde ortaya çıkan bir atık ürünlerdir. Uçucu küller genellikle portland çimentosunun ağırlık yüzdesi oranında bir kısmı yerine veya çimentoya önceden karıştırılarak katkı çimento olarak kullanılırlar. Uçucu küllerin betonun mekanik özelliklerine ve durabiliteye etkileri vardır.

Beton, basınç dayanımı yüksek fakat çekme ve kayma dayanımı düşük bir yapı malzemesidir. Betonun bu dezavantajı çelik kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Betonun çelik ile birlikte kullanılması betonarme olarak adlandırılır. Bilindiği üzere. Betonarmenin varlığı beton ile donatı arasındaki aderans ile mümkündür. Aderans, beton ile donatı arasında her hangi bir sıyrılmadan gerilme aktarılmasıdır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, C20 betonuna belirli oranlarda uçucu kül, polipropilen lif ve çelik lif kullanılarak 60 adet standart küp numuneleri, 30 adet 500 x 100 x 100 mm ebatında eğilme numuneleri ve 20 adet 120 x 180 x 900 mm ebatında Ø12 çapında donatılı, 5Ø (60 mm) ve 10Ø (120 mm) kenetlenme boyuna sahip aderans

numuneleri üretilmiştir. Numunelerin kül ve lif oranları Çizelge 1.1 'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Elde Edilen Karışımlar

Karışım	Uçucu Kül	Çelik Lif	Polipropilen Lif
K1 (0uk+0pp+0st)	%0	%0	%0
K2 (0uk+0,5pp+0st)	%0	%0,5	%0
K3 (0uk+0,5pp+0,5st)	%0	%0,5	%0,5
K4 (0uk+0,5pp+1st)	%0	%0,5	%1
K5 (0uk+0,5pp+1,5st)	%0	%0,5	%1,5
K6 (20uk+0pp+0st)	%20	%0	%0
K7 (20uk+0,5pp+0st)	%20	%0,5	%0
K8 (20uk+0,5pp+0,5st)	%20	%0,5	%0,5
K9 (20uk+0,5pp+1st)	%20	%0,5	%1
K10 (20uk+0,5pp+1,5st)	%20	%0,5	%1,5

Her bir karışımdan 6 adet küp, 3 adet eğilme ve 1 'er adet 60 mm ve 120 mm kenetlenme boyuna sahip olmak üzere 2 adet aderans numuneleri üretilip, sonuçlar irdelenmiştir.

2. ADERANS

Betonarme, beton ve çelik donatı çubuklarının bir arada çalıştığı ve inşaat mühendisliği yapılarının önemli bir bölümünün inşasında kullanılan bir yapım türüdür. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip konut, hastane, okul gibi birçok bina yapıları, istinat duvarları, tüneller, köprüler, barajlar bunlardan en çok karşılaşılanlarıdır [1,2].

Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için, donatı çubuklarının betona kenetlenmesi ve aderansın olması

gerekir. Beton ile içerisindeki donatı, meydana gelen etkiler nedeniyle Şekil deęiŐtirirler. Bu sırada iki malzeme arasında gerilmelerin geçişi meydana gelir. Arada sıyrılma olmaksızın bu tőr gerilme geçiŐinin ortaya çıkmasına aderans denir [1,3].

2.1 Aderansın Nedenleri

Aderansın nedenleri genellikle donatı ile beton arasındaki üç ana sebepten ileri geldiği kabul edilmektedir.

- a- elik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri
- b- Beton ve elik çubuk arasında oluşan sőrünme kuvvetleri
- c- Yüzeyinde çıkıntılar bulunan aderansı geliştirilmiş çubukların (nervürlü donatı) kullanılması durumunda ortaya çıkan ve nervürler ile beton diŐler arasında oluşan diŐ kuvvetleri ve kenetlenme [1].

2.2. Aderans Türleri

2.2.1. Kenetlenme Aderansı

Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüŐse, çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütle yi yarabilir. Betona gömülen çubuk boyu, "kenetlenme boyu" olarak adlandırılır ve bu tőr adersana da "kenetlenme aderansı" denir [4].

TS 500' de kenetlenme boyu ile ilgili öngörülen koşullar aşağıdaki gibidir.

Betonarme bir yapı elemanının gerektiği gibi davranabilmesi için donatının betona kenetlenmesi zorunludur. Aderansın tam olarak sağlanabilmesi için gerekli kenetlenme boyu, kesitteki donatı çubuklarının betonlama sırasındaki konumuna bağlıdır.

Konum I : Genel durum (Konum II de olmayan bütün çubuklar)

Konum II : Betonlama sırasında eğimi yatayla 45o - 90o arasında olanlar ile, daha az eğimli veya yatay olup da betonlama sırasında kesitin alt yarısında veya kesitin serbest üst yüzünden 300 mm den daha uzakta olan çubuklar

Kenetlenme, donatının gereksinme duyulmayan noktadan düz olarak l_b kadar uzatılması ile sağlanabilir. Kenetlenme boyu olarak tanımlanan bu boy, nervürlü çubuklar için aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$l_b = (0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi) \geq 20 \phi \quad (2.1)$$

Düz yüzeyli çubuklarda, bu değerin iki katı kullanılmalıdır.

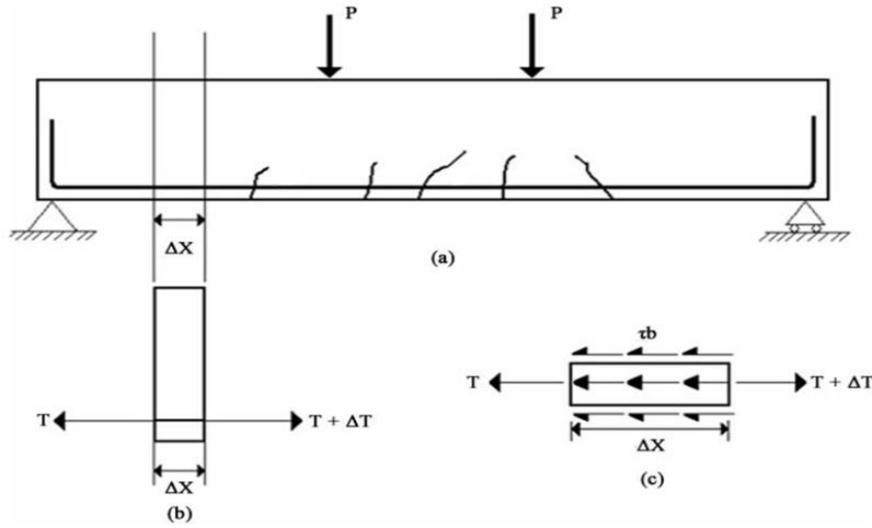
Donatı çapının, $32 \text{ mm} < \phi \leq 40 \text{ mm}$ olduğu durumlarda yukarıdaki denklemlerden hesaplanan kenetlenme boyu, $100/(132-\phi)$ katsayısı ile çarpılarak artırılır.

Denklem (2.1)' den hesaplanan kenetlenme boyları, Konum II ye giren çubuklar için 1,0 ile, Konum I e giren çubuklar için ise 1,4 ile çarpılmalıdır.

Beton örtüsünün donatı çapından az olduğu veya aynı sıradaki donatı çubukları arasındaki net uzaklığın donatı çapının bir buçuk katından küçük olduğu durumlarda, Denklem (2.1)' den hesaplanan kenetlenme boyları 1,2 ile çarpılarak artırılmalıdır [5].

2.2.2. Eğilme Aderansı

Eğilme yükü altında olan bir betonarme elemanda momentin başka bir kesite geçişi için donatıdaki gerilmenin orantılı olarak aktarılması gerekmektedir. Donatıdaki gerilmenin aktarılabilmesi, ancak donatı çevresinde oluşan ve aderans gerilmeleri olarak adlandırılan kesme gerilmelerinin var olması ile mümkün olabilmektedir [6,7]. Eğilme aderansının gösterimi Şekil 2.1’ de sunulmuştur.



Şekil 2.1. Eğilme aderansı (Ersoy ve Özcebe, 2001)

Şekil 2.1. (a)’ da beton bir kütleye gömülen bir çubuğun eğilme deneyine tabi tutuluşu, (b)’ de donatı çubuğunun küçük bir kesitinde oluşan gerilmeleri ve (c)’ de donatı üzerindeki aderans gerilme değişimleri gösterilmiştir.

Denge gereği Δx uzunluğundaki donatı çevresine etkiyen aderans gerilmeleri toplamı, bu donatının iki ucundaki çekme kuvvetleri farkına eşit olmalıdır.

$$\tau_b(u)\Delta x = \Delta T = \frac{\Delta M}{z} \quad (2.2)$$

fadisi verilebilmektedir. Denklem 2.2’ da; τ_b : aderans gerilmesini (MPa), z : moment kolunu, u : çubuğun çevre uzunluğunu (mm) göstermektedir. $\Delta M/\Delta x = V$ olduğundan;

$$\tau_b = \frac{V}{u(z)} \quad (2.3)$$

Şeklinde yazılarak eğilme aderansı tanımlanabilir [7,8].

2.3. Aderans Dayanımını Etkileyen Faktörler

2.3.1. Betonun Çekme Dayanımı

Nervürlü yüzey geometrisine sahip olan donatılarda, oluşan eğik dış kuvvetlerinin düşey bileşeni betonda çekme gerilmesinin oluşmasına, bunun sonucu olarak da betonda iç çatlakların ortaya çıkmasına ve yarılmaya neden olmaktadır. Bu sebepten ötürü nervürlü çubuklarla donatılmış elemanlarda kırılma, yarıлма ile olacağından betonun çekme dayanımı özellikle önemlidir [7].

2.3.2. Çeliğin Akma Dayanımı

Donatının akma dayanımı, kenetlenme boyunca aderans gerilmesinin dağılımında ve bindirmeli eklerde ise gerilme aktarımında büyük rol oynamaktadır [7].

2.3.3. Çubuğun Yüzey Geometrisi

Düz donatılarda aderansın bir kısmının, beton ile donatı yüzeyi arasındaki kimyasal yapışma sayesinde sağlanmaktadır. Bu tür donatılarda sıyrılmanın başlamasıyla sürtünme kuvveti de aderans dayanımına katkıda bulunmaktadır. Bununla beraber düz yüzeyli donatıların betonla aderansı dişli donatılardan daha az olduğundan kenetlenmenin sağlanabilmesi için bunların kenetlenme boyunun daha büyük seçilmesi gerekmektedir. Uçlarında kanca yapılması durumunda söz konusu boyun küçültülebileceği bilinmektedir [9].

Nervürlü donatılarda ise, yapışmanın ve sürtünmenin aderansa katkısı dişlerdeki mekanik kenetlenmeye oranla ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Bu tip donatılarda

aderansın çok önemli bir bölümü, dişlerin eğimli yüzeylerinin betona yaslanmasıyla oluşan eğik kuvvetler sayesinde sağlanmaktadır. Bu nedenlerle kullanılacak donatı seçiminde yüzey geometrisi bakımından dişli yani nervürlü donatıların seçilmesi adersansa büyük oranda katkı sağlayacaktır [9].

2.3.4. Donatı Çapı

Donatı çapı değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvvetin etkilediği alana oranı değişmektedir. Yani donatı çapı arttıkça hem donatıya gelen yükün artması sonucu kenetlenme gerilmesi azalmakta, hem de donatı dış kuvvetlerinin oluşturduğu ve yarıлма çatlağına sebep olan radyal gerilmelerin artması söz konusu olmaktadır [10].

2.3.5. Kenetlenme Boyu

Betonla donatı arasındaki kenetlenmenin yeterli olabilmesi için donatı akma dayanımına ulaştığında ya da akma ötesi şekil değiştirme yaptığında, donatının betondan sıyrılmaması ve betonu yarmaması gerekmektedir. Bunun için kenetlenme boyunun uygun olması gerekmektedir. Kenetlenme boyu, çekme ya da basınç etkisinde bulunan donatıdaki gerilmenin akma dayanımına ulaşabileceği en küçük boy olarak tanımlanmaktadır [7,9].

2.3.6. Pas payı Tabaka Kalınlığı

Betonda yarımanın meydana gelmemesi için, nervürlü donatı kullanılması durumunda büyük önem kazanmaktadır. Pas payı arttıkça da adersan dayanımı dolayısıyla da yarıлма dayanımı artmaktadır [7,9].

2.3.7. Donatının Konumu

Aderansın iyi olabilmesi için betonun içerisinde gömülü bulunan donatıyı tamamen sarması gereklidir. Betonlama sırasında üst yüzeye yakın çubukların altında biriken hava kabarcıkları bu çubukların beton ile aderansını zayıflatır [7].

2.3.8. Sargı Donatısı

Fret ya da kapalı etriye gibi sargı donatılarının yerel basınç oluşturarak aderans dayanımına katkıda bulunduğu deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Özellikle nervürlü donatı kullanılması durumunda, meydana gelebilecek yarılmalar sargı donatısı kullanılarak engellenebilmektedir. Bindirmeli eklerin bindirme boyunca kapalı etriyelerle sarılması, kesitin yarılmaya karşı dayanımını artırdığı gibi çapı büyük olan donatıların rijit dönme sonucu betonun yırtılmasını da önlenmektedir [7,9].

2.4. Aderans Deneyleri

Aderans deneyleri genelde dış aderans denilen direkt aderansla ilgili özellikleri (kenetlenme, bindirmeli ekleme, sınır gerilme) konu alan çekip-çıkarma (pull-out) deneyleri ile iç aderans denilen çatlama özelliklerini konu alan kiriş deneyleri olmak üzere iki türdür. Yaygınlığı daha az olan itip-çıkarma (push-out) deneyleri de yapılmaktadır. Çekip çıkarma deneyleri; direk çekip-çıkarma ve dışmerkez çekip-çıkarma şeklindedir. Kiriş deneyleri arasında ise en yaygın olarak kullanılanları, Bureau of Standards Deneyi, Texas Deneyi, Standard Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi ve büyük boyutlu betonarme kirişler üzerinde yapılan kiriş çatlama deneyidir [7,9,11,12].

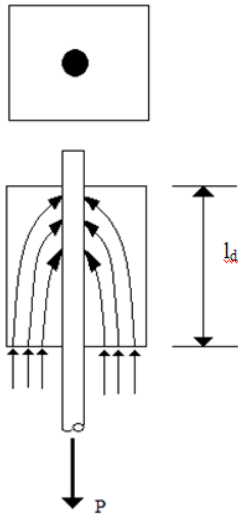
2.4.1. Çekip Çıkarma(Pull-Out) Deneyi

Aderans deneyleri arasında en eskisi, en yaygın olarak kullanılanı, en basit en pratik olanı, “eksenel çekip çıkarma deneyi” dir. Bu deneyde, Şekil 2.2’ de gösterildiği gibi,

tabandan mesnetlenmiş bir beton prizma veya silindirin içine yerleştirilmiş çubuk, alttaki serbest ucundan çekilip, betondan çıkartılmaya çalışılır. Genelde, alt serbest uca ve üstte, çubuğun betona göre sıyrılması ölçülür. Bazı araştırmacılar, serbest uçtaki sıyrılmanın 0.25 mm olduğu yükte hesaplanan ortalama aderans gerilmesini, güvenli aderans gerilmesi olarak kabul etmektedirler. Değişik kenetlenme boyları kullanılarak yapılan deneylerle kenetlenme boyunun saptanması, yazarlara daha doğru bir yaklaşım olarak gözükmektedir

Bu tür deney elemanlarında donatıya dik kesme kuvvetinin bulunmayışı, mesnetin uyguladığı yerel basınç gerilmeleri ve beton örtüsünün gerçekte olandan çok büyük olması ve çekme çatlaklarının oluşmaması gibi sakıncalar söz konusudur. Ancak iki tür donatının izafi aderans ve kenetlenme özelliklerinin saptanıp karşılaştırılmasında bu tür deneylerden yararlanılabilir.

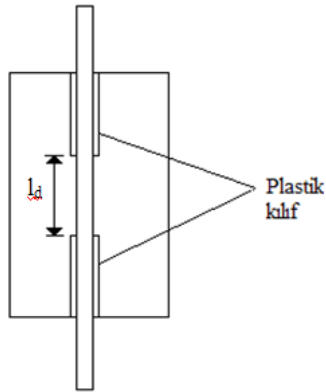
Fakat Şekil 3.7' de ki eksantrik çekip-çıkarma deney elemanı ile gerçekçi beton örtü kalınlığı ayarlanılabilmekte ve yerel basınç gerilmeleri, uçlardan donatıya geçirilen kılıflarla yok edilebilmektedir. Ayrıca donatıya dik kesme kuvvetinin bulunması ve eğilme nedeni ile çatlamanın olabilmesi, bu deney elemanının daha gerçekçi sonuçlar vermesini sağlamaktadır [13].



Şekil 2.2. Çekip çıkarma (pull-out) deneyi

2.4.2. İtip Çıkarma Deneyi

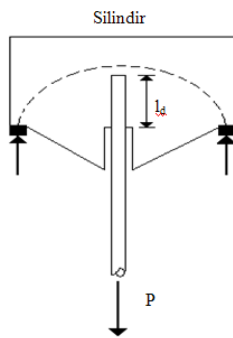
Çekip-çıkarma deneyinden daha az yaygın olan bu deney türünün bir öncekinden tek farkı, çelik çubuğu beton kütleden çözen P kuvvetinin çekici değil itici bir özellik taşımasıdır (Şekil 2.3) [13].



Şekil 2.3. İtip çıkarma deneyi

2.4.3. Geliştirilmiş Çekip Çıkarma Deneyi

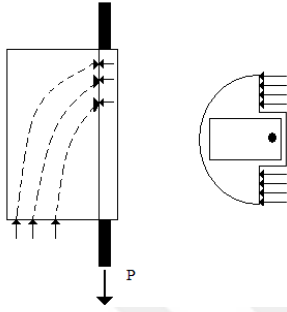
Çekip-çıkarma deneyinde beton içi gerilmelerin bir kubbe gibi çalışıp betonu çubuk üzerine bastırmalarını önlemek amacıyla F. Leonhardt tarafından teklif edilmiş olan bir deney türüdür (Şekil 2.4). Beton kütle silindirik olup deney ana hatlarıyla çekip-çıkarma deneyine benzer[13].



Şekil 2.4. Geliştirilmiş çekip çıkarma deneyi

2.4.4. Eksantrik Çekip Çıkarma Deneyi

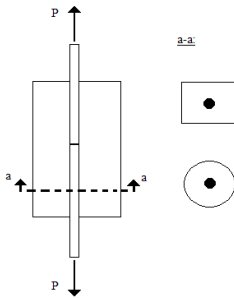
2.5.3' te anlatılan amaca yönelmiş bir başka deney de P.M. Ferguson, R.D. Turpin ve J.N. Thompson tarafından kullanılan eksantrik çekip çıkarma deneyidir (Şekil 2.5) [13].



Şekil 2.5. Eksantrik-çekip çıkarma deneyi

2.4.5. Uç Uca Çekme Deneyi

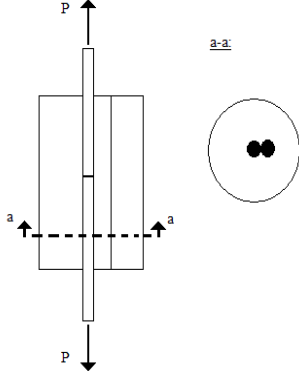
Kare prizma veya silindir şeklindeki bir beton kütesinin en kesit merkezine yerleştirilmiş uç uca iki çelik çubuktan meydana gelen epruvet, çubukların serbest uçlarına düzgün artan bir çekme kuvveti uygulanarak denenmektedir (Şekil 2.6). Epruvette enine donatı mevcuttur. Çubuklardan birinde ilk aderans çözülmesi elde edildiğinde henüz direnç gösteren öteki uçtaki çubuk üzerinde çekip-çıkarma deneyi de yapılabilmektedir[13].



Şekil 2.6. Uç uca çekme deneyi

2.4.6. Ek Çubuklu Uç Uca Çekme Deneyi

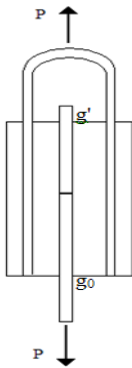
Genel olarak uç uca çekme deney türüne benzeyen bu tür J.R. Robinson tarafından uygulanmıştır (Şekil 2.7) [13].



Şekil 2.7. Ek çubuklu uç uca çekme deneyi

2.4.7. Tek Çubuklu Çekme Deneyi

Çalışma bakımından uç uca çekme deney türüne benzeyen bu deney g' ve g_0 gibi iki ayrı noktadan ölçme imkânı vermektedir (Şekil 2.8) [13].



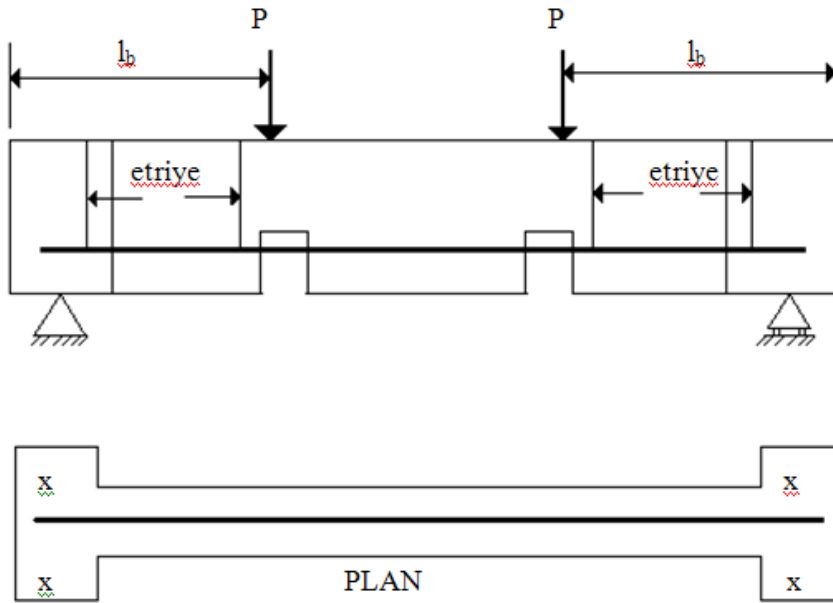
Şekil 2.8. Tek çubuklu çekme deneyi

2.4.8. Kiriş Deneyleri

Çekip çıkarma deneylerinin eğilmeye çalışan bir elemandaki gerçek durumu yansıtmamasından dolayı kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Özellikle eğilme çekme çatlaklarının aderans davranışını etkilediği kabul edildiğinden beri, çekip çıkarma deneyleri, kiriş testlerinden daha az güvenilir olarak dikkate alınmıştır. Kiriş deneylerinden en yaygın olarak kullanılanları, Bureau of Standarts Deneyi, Teksas Deneyi, Standart Belçika mafsallı Kiriş Deneyi ve büyük boyutlu betonarme kirişler üzerinde yapılan Kiriş Çatlama Deneyidir[13].

2.4.8.1. Bureau Deneyi

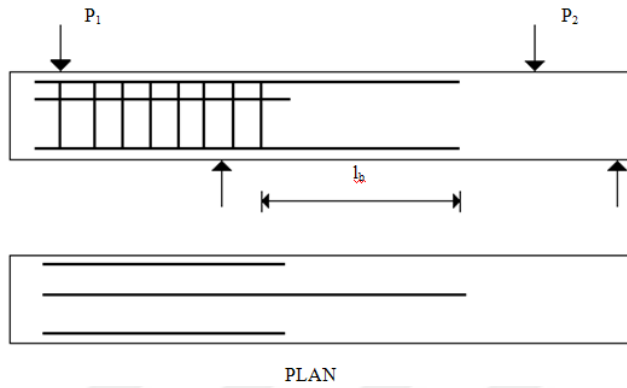
Kenetlenme boyunun saptanmasında daha gerçekçi şartları sağlayan bir deney türüdür. Şekil 2.9' da gösterilen Bureau of Standarts deney elemanında kesme kırılmasını önlemek için aşırı etriye kullanmak gerekmektedir. Bu durum ise aderansı büyük ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek açısından önemli bir sakınca doğmaktadır[13].



Şekil 2.9. Bureau deneyi

2.4.8.2. Teksas Deneyi

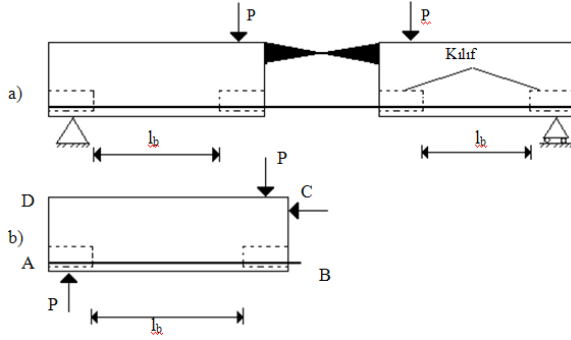
Bureau Standart deneyine benzer şekilde kenetlenme boyunun incelendiği bu deney türünün sakıncası, donatının gerçekte bağdaşmayacak genişlikte bir beton kütleyle gömülmüş olmasıdır (Şekil 2.10). Bu kiriş tipinde de başlıca önemli olan, donatıyı örten betonu sınırlayabilecek olan mesnetin uyguladığı yerel basınç gerilmelerinin önlenmesidir. Böylece, yarıma önlenmesi ortadan kaldırılmaktadır[13].



Şekil 2.10. Teksas deneyi

2.4.8.3. Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi

Donatı çubuklarının çekme durumundaki betonla sarılı olmalarını sağlayan bu tür bir deney elemanı ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilir. Kiriş ortasındaki mafsalın amacı, çubuğa etkileyen kuvvetin kesin olarak belirlenmesidir (Şekil 2.11). Denenen çubuklara etkileyen kuvvet, epruvete yüklenen P kuvveti ile orantılı olup, kademeli olarak artırılmaktadır. Kademeler çubukta belirli çekme gerilmeleri oluşturmak üzere düzenlenmiştir[13].



Şekil 2.11. Standart mafsallı Belçika Deneyi

2.5. Aderans İle İlgili Kaynak Araştırması

Döndüren, Çöğürçü, Altın (2006), betonla donatı arasındaki aderansın beton sınıfı, donatı sınıfı, enine donatı ve kenetlenme boyuna göre değişimlerini belirlemek, ayrıca donatı ve beton özelliklerinin, betonarme kesit ve elemanın türünün, beton donatı aderansını nasıl etkilediğini incelemiştir. Sonuç olarak beton kalitesinin yüksekliğinin, etriye kullanılmasının, nervürlü donatının ve kenetlenme boyunun büyük olmasının aderansı arttırdığını göstermişlerdir [14].

Arslan (2017), farklı donatı çapları, kenetlenme boyları ve çimento dozajı kullanarak üretilen betonlarla donatı arasındaki aderans mafsallı kiriş deneyi yardımıyla eğilme altında deneysel olarak incelemiş ve kenetlenme boyundaki ve çimento dozajındaki artışın aderans dayanımını arttırdığı, donatı çapındaki artışın aderans dayanımını azalttığını göstermiştir [15].

Popal (2015), 18mm çapındaki nervürlü ve düz donatıların 15*15*60cm' lik boyutlarındaki 28 günlük beton prizmatik numuneler içerisine 10cm, 15cm, 20cm, 25cm mesafelerde gömülü örnekler üzerinde çekip- çıkarma (pull- out) deneyleri yaparak C10 sınıfı beton ile beton donatı arasındaki sıyrılma davranışı incelemiştir [3].

Seis (2017), bazalt lifli kompozit donatının C30 sınıfındaki betonla olan aderans ilişkisini 8 mm ve 12 mm çapındaki çelik donatı ile mukayesesini mafsalı kiriş yöntemiyle yapmış, bazalt lifli kompozit donatıların çeliğe kıyasla daha iyi bir aderans sağladığı görmüştür [16].

Arel (2012), beton donatı arasındaki aderans dayanımına değişik parametrelerin etkisini incelemiştir. Bunlar; betonun mekanik özelliklerinin, pas payı tabaka kalınlığının, kür süresinin, değişik miktarlarda çelik lif kullanılması, lifli ve lifsiz beton numunelerde yüksek sıcaklığın aderansa etkisini incelemiştir [17].

Erten (2009), mineral, kimyasal, fiber katkıların ilavesiyle beton-donatı arasındaki aderansın nasıl değiştiği incelemiştir, 15 x 15 x 60 cm' lik boyutlardaki prizmatik numuneler içerisine gömülü olan 14mm çapındaki düz ve nervürlü, 18 mm çapındaki nervürlü donatıların 28 günlük beton numuneler üzerinde pull- out deneyi yapmıştır. Deney sonucunda betonun basınç dayanımıyla birlikte aderans dayanımının da arttığını görmüştür [18].

Kurt (2006), beton donatı aderansının boyut etkisini araştırmış; birincisi yüksek dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri, ikincisi normal dayanımlı beton, düz demirden oluşan deney numuneleri, üçüncüsü yüksek dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numuneleri ve dördüncüsü normal dayanımlı beton, nervürlü demirden oluşan deney numunelerinden farklı donatı çaplarına sahip farklı boylarda beton numuneleri üzerinde çekip çıkarma deneyi yapmıştır. Deneylerden elde ettiği sonuçlara göre boyut etkisinin varlığını göstermiştir [19].

Türk (2002), çalışmasında 27 adet kiriş numunesinin açıklık ortasına bindirmeli ekli iki çekme donatısı yerleştirilerek, değişik yükleme durumuna ve donatı çapına göre aderans dayanımlarının incelemiştir, hem basit hem de bileşik eğilme yüklemesi altında, donatı çapı arttıkça, aderans dayanımının azaldığı fakat eksenel basınç kuvvetin, aynı donatı çaplı numuneler esas alındığında, hem aderans hem de duktiliteyi arttırdığı sonucuna ulaşmıştır [10].

3. UÇUCU KÜLLER

3.1. Puzolanlar

Yalnız kullanıldıklarında bağlayıcılıkları olmayan ancak kireç veya çimento ile karıştırıldıktan sonra su ile yaptığı reaksiyon sonucunda bağlayıcı madde özelliği kazanan maddelere puzolan denir. Puzolanların içinde kolloidal halde silis ve alümin yer almaktadır. Puzolanların hidrasyon sonucu ortaya çıkan kireçle reaksiyona girmesiyle, bağlayıcılık özelliği göstermektedir [20].

3.2. Uçucu Küller

Uçucu küller (UK) betonda mineral katkı olarak kullanılan yapay bir puzolandır ve çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, sönmüş kireçle hidrasyon reaksiyonuna girerek suda sertleşirler. UK'ler elektrik üreten termik santrallerden elde edilir. Genellikle endüstride kullanılmayan düşük kalorili kömürlerin çok ince öğütülerek termik santral fırınında yakılması sırasında yukarıya yükselen UK'ler, bacanın üst kısmında elektro filtreler veya siklon adı verilen toz tutucularda, elektrostatik veya mekanik yöntemlerle tutularak depolanırlar. Küllerin parçacıkları küresel olup çapları 1-300 µm mertebesinde [21].

3.2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 (1998) ve TS EN 197-1 (2002) standartları baz alınmaktadır. ASTM C 618 (1998) göre uçucu küller F ve C sınıflarına ve TS EN 197-1 (2002) göre uçucu küller silisi V ve kalkersi W gruplarına ayrılırlar.

3.2.1.1. Uçucu Küllerin ASTM C618' e Göre Sınıflandırılması

F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerin CaO yüzdesi

%10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler [22].

C sınıfına, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ yüzdesi %50'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerin CaO yüzdesi %10'dan fazla olduğu için yüksek kireçli olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler [22].

3.2.1.2. Uçucu Küllerin TS EN 197 – 1' e Göre Sınıflandırılması

V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup, esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan, geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10' dan az, reaktif silis miktarının %25' den fazla olması gerekmektedir [23].

W sınıfı küller, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 ' den oluşan, geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir [23].

3.2.2. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu külün fiziksel özellikleri, genel olarak termik santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uçucu kül, genellikle gri renktedir ve rengi, içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça daha koyu bir hal almaktadır. Uçucu kül, % 60-90 camsı bileşen ihtiva eden çok ince taneciklerden meydana gelmektedir [24].

Uçucu külün tane şekli, yuvarlaktır ve çapları, 1-200 µm arasında değişir. Taneciklerin yaklaşık % 75'inin çapı 45 µm'den, % 50'den çoğu ise 20 µm'den daha küçüktür. Uçucu külün yoğunluğu, 2.2-2.7 g/cm³ dolayındadır [25].

3.2.3. Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri

Kimyasal bileşim olarak uçucu küller, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orjini ve kömür hazırlama, yanma, toz kaplama ve desülfirizasyon gibi proses koşullarına bağlıdır. Ana elementler olarak uçucu küllerin kimyasal yapılarında Al, Si, Ca, Fe ve S bulunur. Uçucu küllerin kimyasal yapısında bulunan başlıca bileşenler Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, CaO ve SO₃ olup MgO, Na₂O, K₂O, Ti₂O, ve benzeri oksitler bulunabilir. Bunların miktarları uçucu külün silisli veya kireçli yapıda olmasına göre farklılıklar göstermektedir. Uçucu küllerin tipik kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.1'de verilmiştir [26, 27].

Çizelge 3.1. Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonları

Bileşen	F Sınıfı Kül (%) (CaO < % 10)	C Sınıfı Kül (%) (CaO > % 10)
SiO ₂	43,6- 64,4	23,1- 50,5
Al ₂ O ₃	19,6- 30,1	13,3- 21,3
Fe ₂ O ₃	3,8- 23,9	3,7- 22,5
CaO	0,7- 6,7	11,5- 29
MgO	0,9- 1,7	1,5- 7,5
Na ₂ O	0- 2,8	0,4- 1,9
KK	0,4- 7,2	0,3- 1,9

Uçucu küllerin sınıflandırılmalarında, kimyasal bileşen yüzdesi dikkate alındığında ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır. Bu standartlardaki kimyasal sınırlar Çizelge 4.2'de verilmiştir [22, 28].

Çizelge 3.2. Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşimleri Standart Değerleri

Bileşenler (%)	TS EN 450	TS 639	ASTM C 618	
			F	C
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$		> 70	> 70	> 70
SO_3	< 3	< 5	< 5	< 5
Nemlilik		< 3	< 3	< 3
KK	< 5	< 10	< 6	< 6
MgO		< 5		
Alkaliler		< 1,5	< 1,5	< 1,5
Cl^-	< 0,10			
Serbest CaO	< 1			
Reaktif SiO_2	> 25			

UK'lerin puzolanik özellikleri, kimyasal bileşiminden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkilidir. Düşük kireçli UK'lerin ana aktif bileşeni, silis ve aluminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu tip UK'ler, rutubetli ortamda sönmüş kireç ($CaOH_2$) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler [24].

3.2.4. Uçucu Küllü Betonlarda Karışım Oranlama Metodları

Uçucu küller; beton içerisinde, portland çimentosu yerine uçucu küllü çimento kullanımı (ikame metodu) veya uçucu külün beton içerisinde katkı olarak kullanımı (ilave metodu) şeklinde kullanılabilir.

3.2.4.1. Uçucu Külün Beton İçerisinde Katkı olarak Kullanılması (İlave Metodu)

İlave metodunda, karışımdaki çimento miktarı değiştirilmeksizin, karışıma uçucu kül eklenmektedir.

3.2.4.2. Uçucu Külün Portland Çimentosu Yerine Uçucu Küllü Çimento Kullanılması (İkame Metodu)

İkame metodunda, belli bir miktar çimento, karışımından çıkarılmakta ve yerine uçucu kül konulmaktadır. Karışımından çıkarılan çimento miktarının yerine konulacak uçucu kül miktarına göre çeşitli ikame metodları geliştirilmiştir.

3.2.4.2.1. Uçucu Küllerin İkame Metotları

Birçok araştırmacı karışım oranları ve uçucu külün ikamesi ya da beton karışımına katılması konusunda çalışmalar yapmışlardır. Uçucu kül ikame metotları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

3.2.4.2.1.1. Basit İkame Metodu

Bu metotta, kontrol karışımının çimentosunun bir kısmı yerine hacimce veya ağırlıkça eşit miktarda uçucu kül konularak uçucu küllü beton üretilmektedir. Bu metot kolaylığından dolayı birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır [29].

3.2.4.2.1.2. Değiştirilmiş İkame Metodu

Basit ikame metodu ile tasarımılanan beton karışımlarının erken dayanım düşüklüğü, araştırmacıları yeterli erken yaş dayanımı veren bir başka ikame metodu bulmaya itmiştir. Düşük erken yaş dayanımının üstesinden gelen ve basit ikame metodunu modifiye eden çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bütün metotlarda ortak göze çarpan özellik karışıma konan uçucu kül miktarının çıkarılan çimento miktarından fazla olmasıdır, uçucu külün fazla konulan miktarı ince agrega yerine kullanılır. Ayrıca su/çimento oranını azaltarak betonda mukavemet kaybı olmadan mümkün olduğunca çok uçucu kül kullanımını sağlayan değiştirilmiş bir ikame metodu önerilmiştir [29].

3.2.4.2.1.3. Rasyonel Metod

Rasyonel metod, uçucu küllü betonun şartnamelerdeki işlenebilirlik ve mukavemet şartlarıyla uyuşması gerektiği gerçeği, betonun bu özelliklerini etkileyen uçucu kül karakteristiklerini göz önüne almak gerektiğini ortaya koymuştur [29].

3.2.5. Uçucu Küllerin Beton Özelliklerine Etkisi

Uçucu küller kimyasal, mineralojik, fiziksel ve puzolanik özellikleri sebebiyle betonun özelliklerini etkilemektedir.

Uçucu küllerin ince ve küresel taneciklerden meydana gelmesi kuma ve ayrışmayı azaltan bir faktördür. Agregalar arasına yerleşen Uçucu kül tanecikleri kuma kanallarının daralmasına neden olarak bu etkiyi yaratırlar [31].

Genellikle, çimentonun yerine kısmi olarak uçucu kül konularak kullanılması betonun su ihtiyacını, uçucu külsüz olarak üretilecek betona göre aynı slump değeri için azaltmaktadır. Uçucu külün su ihtiyacını azaltmaktaki rolü esas olarak inceliğine dayanmaktadır. İnceliğin artması su ihtiyacını artırırken, küresel şekillenmiş olan taneler içsel sürtünmeyi azaltmaktadır, dolayısıyla su ihtiyacında azalma olmaktadır. Bu nedenle beton karışım oranları su ihtiyacı üzerinde etkin rol oynar. Uçucu külün puzolanik reaksiyonundan yararlanarak çimento miktarı azaltılarak ve uçucu küllü betonlarda uçucu külsüz betonla aynı slump değerini elde etmek için su-çimento oranı azaltılır. Diğer taraftan uçucu kül ince agreganın yerine kısmi yerleşim yapılırsa su ihtiyacı yüksek olabilir. Uçucu külün kullanımı bağlayıcı hamurun hacmini artırır. Uçucu kül çimentonun kısmi bir yer değişimi ağırlık bazında yapıldığında, uçucu külün yoğunluğu çimentodan az olduğundan, yer değişimde bağlayıcı maddenin hacminde bir artış olmaktadır. Boşlukların yeterli miktarda bağlayıcı hamuru ile doldurulması sonucu yapışkanlık, plastiklik ve agrega tanelerinin kayganlığı sağlanır. Uçucu küllerin inceliği ve tanelerinin küresel olması işlenebilme üzerinde faydalı etkilere sahiptir. Küresel şekil agregalar arasındaki sürtünmeyi bilyalı yatak etkisi ile azaltmakta ve betonun daha rahat hareket etmesini

sağlamaktadır. İnce taneler boşlukların daha iyi dolmasını sağlar ve perdahlanmayı kolaylaştırır. Aynı zamanda uçucu külün tanelerinin küresel şekli, agregalar arasındaki sürtünmeyi azaltır, dolayısıyla beton ve pompa hattındaki sürtünmeyi azalttığından betonun pompalanabilirliğini arttırmaktadır[32].

Uçucu küllü beton, diğer bütün puzolanik betonlar gibi, daha uzun priz zamanına sahiptir. Uçucu külün priz zamanı üzerindeki etkisi uçucu külün karakteristiklerine ve kullanıldığı miktara bağlıdır. Uçucu kül betonlarının priz zamanının normal betona göre daha uzun olmasından dolayı, bu tür betonun bitirilmesi normal betona göre daha geç yapılmalıdır. Piriz süresinin fazla olması ilk dayanımı etkileyen C3A miktarının uçucu külde çok az olup ve betonda bu ana bileşenin oranı düşürmesidir [33].

Uçucu kül ve portland çimentosunun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit arasındaki kimyasal reaksiyon, çimentonun hidrasyonu işleminden daha yavaş bir işlemdir. Bu durum daha yavaş ısı oluşmasına ve beton içinde daha az iç gerilmeye ve daha az rötreye sebep olur. Uçucu külün bu özelliği onun özellikle baraj yapılarında kütle betonlarında ortaya çıkan yüksek ısıları kontrol etmede kullanılır.[32]

Uçucu Kül kullanımı, hava sürükleyici katkı kullanılmadıkça donma-çözülme direncini azaltmaktadır. Bununla birlikte Uçucu Kül betonlarında sadece %1'lik hava sürükleyici katkısının kullanılması, kontrol betona göre çok üstün performans göstermektedir. Dayanımlar sabit tutulduğunda Uçucu Küllü betonun donma-çözülme dayanımı, Portland Çimento'lu beton ile benzer olmaktadır [34].

Uçucu küllü betonun geçirgenliği genelde Uçucu külsüz olarak yapılan betonun geçirgenliğinden daha düşüktür. Geçirgenliğin böyle düşük olmasının nedeni uçucu kül ile çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit arasındaki puzolanik reaksiyon sonucu ortaya çıkan ilave C-S-H jelleridir. Bu jeller kapiler boşlukları azaltmaktadır [35].

Uçucu kül içeren betonların sülfat dirençlerini etkileyen faktörler Uçucu kül içermeyen betonlar ile aynı olmaktadır. En önemli faktörler, maruz kaldığı sülfat, su/bağlayıcı oranı, kür koşulları ve permeabilite dayanımıdır. Genel olarak F sınıfı Uçucu külün permeabilitesi daha düşük olduğu için, betonun sülfat direncini arttırmaktadır[32].

Çizelge 3.3' de uçucu küllerin beton özelliklerine etkisi görülmektedir.

Çizelge 3.3. Uçucu Külün Beton Özelliklerinde Etkisi [30]

Beton özelliği	Etkisi
Taze beton su ihtiyacını	Azaltır
Taze betonda tane ayrışmasını	Azaltır
Taze betonda işlenebilirliği	Artırır
Taze betonda piziriz suresini	Artırır
Taze betonda terlemeyi	Azaltır
Sertleşmiş betonda erken dayanımı	Azaltır
Sertleşmiş betonda su geçirgenliği	Azaltır
Alkali agrega reaksiyonu	Azaltır
Sülfat direncini	Artırır

3.3. Uçucu Kül İle İlgili Kaynak Araştırması

Topçu ve ark. (2001), çalışmasında Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül, Eskişehir bölgesi agregaları ve PKÇ/B 32.5R çimentosu kullanılarak beton numuneleri üretmişlerdir. Numuneler 300, 350, 400 kg/m³ dozaj ve bu dozajların her biri için çimento yerine % 20 ve % 40 oranında uçucu kül katarak taze betonlarda çökme, VeBe, yayılma ve birim ağırlık deneyleri ile 7, 28 ve 60 günlük sertleşmiş beton numunelerinde uçucu külün beton üzerindeki fiziksel ve mekanik etkilerini belirlemek için deneyler yapmış ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar deney sonucunda işlenebilirlik açısından yapılan incelemelerde dozaj azaldıkça UK katılan betonlarda UK katkısız kontrol betonlarına göre VeBe süresinin azaldığı görmüşlerdir. UK kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve UK miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığını görmüşlerdir. 2000 yılı birim fiyatları ile yaptıkları maliyet analizinde çimento yerine % 20 UK kullanılması

ile beton birim maliyetinde ortalama % 10'luk, % 40 UK kullanılması ile de % 18'lik bir ekonomik kazanç elde edildiğini ve ayrıca endüstriyel bir atık olması UK betonda kullanılması ile bu atığın depolanması maliyetini de düşeceğini öngörmüşlerdir [36].

Demir (2009), çalışmasında Ankara Hasanoğlandan elde edilen kırmataş agrega ve CEM I 42,5 sınıfı çimento kullanmıştır. Puzolanik katkı olarak %5,10,15,20 ve 25 oranlarında SD ve UK çimento ile ağırlıkça yer değiştirmiştir. Hazırladığı 7, 28 ve 90 günlük beton örneklerine basınç ve yarmada çekme deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda; 7 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımlarında uçucu kül dayanımlarda düşüşe sebep olduğunu silis dumanında ise dayanımının artmasına sebep olduğunu, %10'a kadar yapılan ikame miktarında uçucu kül ve silis dumanı arasında çok fazla bir fark oluşmadığını; 28 günlük dayanımlarda SD oranı %20' ye kadar arttıkça basınç dayanımının arttığını, UK oranı %10' dan sonra ise basınç dayanımının düştüğünü; 90 günlük dayanımlarda SD oranı arttıkça dayanım artışı sağlandığı, UK oranı %15'e kadar dayanımının arttığını, %15'den sonra ise basınç dayanımının düştüğünü belirlemiştir [37].

Kandil (2014), çalışmasında çimento ile ikame edilerek beton üretiminde kullanılan uçucu kül ve silis dumanının betonun başta klorür geçirimsizliği, su geçirimsizliği ve dayanımına etkisini araştırmıştır. Çimento ile % 10, %20, %30 oranlarında uçucu kül ve %5, %10, %15 oranlarında silis dumanı ikame ederek elde ettiği numunelere 28 ve 90 gün standart su kürü uygulandıktan sonra hızlı klorür geçirimsizliği, 28 günlük standart su küründen sonra ise basınç altında su işleme derinliği tayini, kılcal su emme ve basınç dayanımı deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda, mineral katkının çimento ile ikamesi arttıkça geçirimsizliğin arttığını göstermektedir. Geçirimsizlikte sağlanan iyileştirme itibarıyla silis dumanının uçucu küle göre daha üstün olduğu sonucuna varmıştır [38].

Akyüncü (2012), F ve C tipi uçucu küllerin çimentoya ikame edilmesiyle üretilen betonların mekanik özellikleri, etkinlikleri ve dayanıklılığa etkileri karşılaştırmıştır. Ürettiği betonlarda farklı çimento dozajlarında hem F hem de C tipi uçucu kül için %10 ve %17 oranında çıkarılan çimentonun yerine çıkarılan miktarın farklı

oranlarında uçucu kül ikame etmiştir. Beton numunelerinde taze beton deneyleri olarak; çökme, birim ağırlık ve hava içeriği deneyleri, sertleşmiş beton deneyleri olarak; basınç, eğilme, ultrases geçiş hızı, elastisite modülü deneyleri, dayanıklılık deneyleri olarak; kılcal su emme, donma-çözülme, sülfat etkisi, hızlandırılmış klor geçirimsizliği deneyleri yapmıştır. Deney sonucunda; F ve C tipi uçucu küllü üretilen betonlarda uçucu küllerin etkinliği, çimento dozajı arttıkça yükseldiğini, hem 28 günde hem de 90 günde uçucu küllü betonların ultrases hızları kontrol betonlara göre yüksek olduğunu ve uçucu küllerin betona dayanıklılık özellikleri açısından daha iyi özellikler kazandığını görmüştür [39].

Karateke (2009), çalışmasında F tipi uçucu kül ile PÇ 42.5 çimento kullanarak eşit işlenebilirlik metoduna göre üretilen uçucu küllü betonların mekanik özelliklerini incelenmiş ve basınç dayanımına bağlı olarak bulunan k etkinlik faktörünü araştırmıştır. Araştırmacı deneyler için 260 kg/m³, 320 kg/m³ ve 400 kg/m³ dozlu numunelerden %10 ve 3'ünden %17 oranında çıkarılan çimentonun yerine ağırlıkça aynı miktarda, 1.5 kat ve 2 kat uçucu kül eklenip (260 kg/m³ dozda %10 çıkarıldığında 1.5 , 2 ve 2.5 kat) eşit işlenebilirlikte (15,5±1,5 cm çökme) betonlar üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapmış ve elde ettiği basınç dayanım değerlerini kullanarak uçucu küle ait k etkinlik faktörü değerlerini bulmuştur. Deney sonucunda; düşük yüzdeli uçucu kül kullanılmış betonlarda basınç dayanımının 28. günde uçucu küllü betonların kontrol betonuna yakın değerler aldığını, 90. günde ise kontrol betonunun üzerinde değerlere ulaştığını gözlemlemiştir. Aynı şekilde elastisite modülünün de 28. günde kontrol betonuna yakın değerler aldığını gözlemlemiştir [40].

Tangüner (2007) çalışmasında, düşük ve yüksek mukavemetli betonlarda uçucu külün etkisini araştırmıştır. Farklı çimento dozajlarında, farklı su/çimento oranlarında ve farklı karışımlardan oluşan numunelerde yaptığı taze ve sertleşmiş beton deneyleri sonucunda elde edilen elastisite modülü ile basınç dayanımı arasında korelasyonu yüksek bağıntılar ile TS500 standartlarındaki benzerleri ile kıyaslanması sonucu, deneysel yolla elde edilmiş bağıntıların elastisite modülü hesaplamalarında gerçeğe yakın sonuçlar ortaya gerçeğe yakın sonuçlar elde etmiştir[41].

Karahan (2006) çalışmasında, su/çimento oranı 0,35, çimento dozajı 400 kg/m³ olan betona çimento ile kütlece %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 ikame oranlarında yer değiştirmiştir. 19 mm uzunluğundaki polipropilen lif hacimce %0.05, %0.10 ve %0.20 oranlarında ve 35 mm uzunluğunda ve 0.55 mm çapındaki çelik lif ise hacimce %0.25, %0.50, %1.00 ve %1.50 oranlarında normal ve %15 ve %30 uçucu kül katkılı betonlara ilave etmiş ve betonlar üzerinde puzolanik aktiflik, birim ağırlık, işlenebilme, basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, tokluk, yarmada çekme dayanımı, aşınma, rötre, boşluk oranı, su emme, kapiler su emme, karbonatlaşma, ultrasonik hız ve donma çözülme deneyleri yapmıştır. Deney sonucunda; polipropilen lifin ve artan lif oranlarında özellikle %0.05 oranından sonra betonların dayanım ve dayanıklılık özelliklerine pek bir etkisi olmadığını, çelik lifin ise özellikle lif hacmi değişimine bağlı olarak betonun eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, aşınma ve rötre gibi özelliklerini önemli ölçüde olumlu yönde etkilediği belirlemiştir. Ayrıca uçucu külün taze ve sertleşmiş betonun bazı özelliklerini olumlu yönde etkilediğini görmüştür [29].

Anuk (2004) çalışmasında, Çatalağzı santralının F sınıfı uçucu küller ve CEM I 42,5 çimento kullanarak ürettiği betonlarda çimento miktarını sabit tutarak %17, %33 ve %50 oranlarında uçucu kül kullanarak taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapmıştır. Deney sonucunda; uçucu külün betonda işlenebilirliği iyileştirdiğini ve betonda su ihtiyacını azalttığını; beton basınç dayanımının erken yaşlarda kontrol betonuna yakın, ileri yaşlarda ise kontrol betonunun üzerinde olduğunu; k etkinlik faktörü değerlerinde de en iyi sonucu %33 uçucu kül eklenen numuneler olduğunu görmüştür [42].

Tuygun (2002), Çayırhan termik santralından elde edilen ASTM C 618'e göre C sınıfı uçucu kül ve PÇ-42,5 çimento kullanarak beton karışımından %10, %30 ve %50 oranlarda çıkarılan çimento yerine ağırlıkça aynı miktarda uçucu kül eklenerek 0,50, 0,60, 0,70, 0,80 ve 0,90 oranlarında su/bağlayıcı madde oranına sahip betonlar üretmiştir. Ürettiği numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapmış. Deney sonucunda; uçucu külün betondaki işlenebilirliği arttırdığını, su ihtiyacını

azalttığını; dayanımın kontrol betonuna oranla erken yaşlarda düşük dayanım verdiği, rutubetli kür koşullarında etkinliğinin azaldığını; k etkinlik faktörünün ise uçucu küllerin yerdeğiştirme yüzdesine bağlı olduğunu görmüştür [43].

Aruntaş (2006), UK kullanımının özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde daha yaygın olduğunu belirlemiştir. Ayrıca Türkiye’de ve Dünyada bu atığın değerlendirilmesi durumunda, enerji tasarrufu sağlanması, daha ucuz ve kaliteli malzeme üretilmesi, atık malzemenin geri dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanmasının yanı sıra hem doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması hem de çevre kirliliğinin önlenmesi mümkün görmektedir [24].

4. LİFLİ BETONLAR

Agrega, çimento ve su gibi temel bileşenleri ile üretilmiş kompozit bir malzeme olan betonun içerisine değişik tekniklerle ve değişik oranlarda plastik, çelik, polipropilen vb. liflerin ilavesiyle elde edilen betona ‘lifli beton’ denir [44].

Lifli betonlarda kullanılan lifler, betonun darbe dayanımını, çekme dayanımını, şekil değiştirme kapasitesini ve enerji yutma kapasitesini (tokluk) arttırarak betonun performansını arttıırırlar. Bu performans artışı; beton bileşimi, lif miktarı ve özellikleri olmak üzere birçok parametreye bağlıdır.

4.1. Lif

Lif, doğal kaynaklardan elde edilen ya da insan eliyle üretilen, uzunluğu, bükülgenliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan maddedir. Genel olarak doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen maddeler doğal liflerdir. Yapay lif, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen, ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen maddedir [45].

4.2. Lif Çeşitleri

Lifler özelliklerine göre çeşitli sınıflara ayrılabilir:

1- Malzemelerine göre:

- a- Doğal : Selüloz, bambu, hindistancevizi kabuğu, şekerkamışı, hint keneviri, asbest
- b- Yapay: Metal, Cam, Sentetik (Akrilik, aramid, karbon, naylon, polyester, polietilen, polipropilen)

2- Fiziksel / Kimyasal özelliklerine göre:

- a- Özgül ağırlık
- b- Yüzey yapısı
- c- Kimyasal dayanım
- d- Isı dayanımı
- e- Narinlik

3- Mekanik özelliklerine göre:

- a- Çekme dayanımı
- b- Elastisite modülü
- c- Süneklik
- d- Tokluk
- e- Yüzey aderansı

Tablo 6.1, çeşitli lif cinslerinin özelliklerini göstermektedir. Bu tabloya göre çelik ve cam lifler, çekme dayanımı yönünden en iyi performansı gösteren lif cinsleridir. Çelik lifler özgül ağırlığı en fazla olan lif cinsi olarak ayrıca bir özellik taşırlar [46].

Çizelge 4.1. Değişik Cins Liflere Ait Fiziksel Özellikler [46].

LİF CİNSİ	ÇEKME DAYANIMI (MPa)	ELASTİSİTE MODÜLÜ (10^3 , MPa)	MAKSİMUM UZAMA (%)	ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm ³)
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8

4.3. Polipropilen Lifli Betonlar

4.3.1. Polipropilen Lifler

Polipropilen lifler petrolün bir türevidir olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle, beton içerisine belirli oranlarda eklenerek betonun fiziksel, mekanik ve termal yapısına olumlu etkiler yapmaktadırlar.

Polipropilen liflerin “monofilament” olarak bilinenlerinin boyları 4–8 cm arasında değişmektedir. Bunlar daha sert yapıdadır ve beton içinde homojen olarak kolayca dağılabilmektedirler [47].

Polipropilen liflerin “staple fiber” olarak bilinen elyafımsı türünde ise lifler kümelenmiş halde bir grup olarak bulunurlar ve kareye yakın bir şekilleri vardır. Boyutlar 1-3 cm arasındadır. Bunlar betona karışım suyu ile birlikte verilebilirler [47].

4.3.2. Polipropilen Lifli Betonların Özellikleri

Beton veya sıvada polipropilen (PP) lifin en önemli etkisi, dökümden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülme nedeniyle oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülme nedeniyle oluşan iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibarıyla su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve suyun buharlaşmasının doğal bir sonucudur. PP lifler, büzülme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirir ve büzülme dolayısıyla oluşacak çatlak tehlikesini en az düzeye indirir [48].

PP lifler sertleşmiş betonda mukavemet artırıcı bir donatı etkisi yaratmazlar. Etkileri betonun plastik safhasında geçerlidir ve bir tür katkı malzemesi görevi görürler [48].

4.4. Çelik Lifli Betonlar

4.4.1. Çelik Lifler

Çelik lifler ya karbon çeliğinden ya da paslanmaz çelikten yapılırlar. Dayanımı 400-1500 MPa arasında değişir. Soğukta işlem görmüş karbon çelik lifler için ise bu dayanımı 4000 MPa' i aşmaktadır, çelik lifin özgül ağırlığı yaklaşık olarak 8 gr/cm³ ve Elastisite modülü ise 200,000 MPa olmaktadır. Çelik liflerin çapları 0.13-10 mm arasında, narinlikleri ise (uzunluk/çap oranı) 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları 13 mm ve 70 mm arasında, genellikle lif hacmi %0.5 ile %3 arasında değişmektedir.

4.4.2. Çelik Liflerin Sınıflandırılması

TS 10513, 1992'e göre; çelik lifler A, B ve C sınıfı olarak üç farklı sınıfa ayrılmıştır.

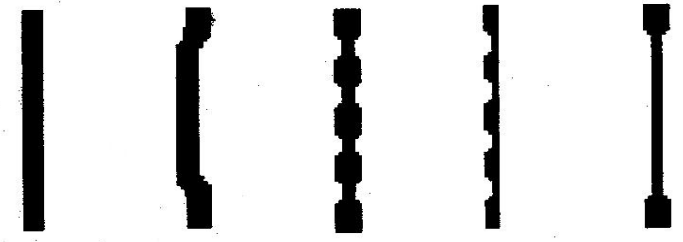
A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyle teller

B Sınıfı: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller:

- Üzerinde girinti (çentik) açılmamış teller
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller
- Ay biçimli dalgalı teller

C Sınıfı: Sonu kancalı teller:

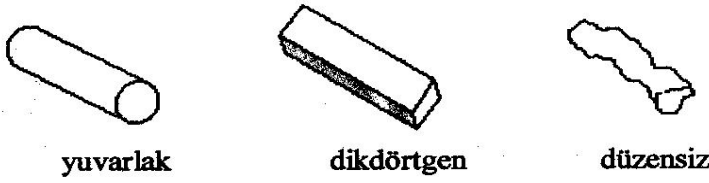
- İki ucu kıvrılmış teller
- Bir ucu kıvrılmış teller



düz çengelli çift kenar form tek kenar form paletli

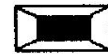
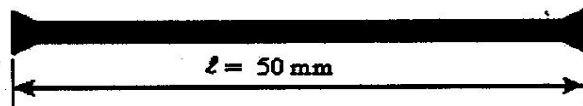
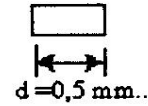
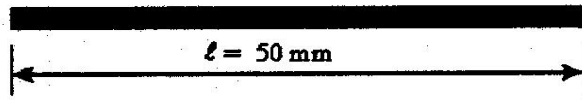
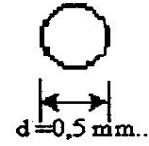
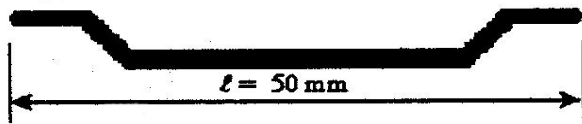


kıvrımlı sonlanmış oyuklu düzensiz



yuvarlak dikdörtgen düzensiz

Çelik lif tipleri ve kesitleri



Değişik Çelik Liflerin Enkesitleri

Şekil 4.1. Çelik Lif Çeşitleri

4.5. Çelik Liflerin Beton İçerisindeki Davranışı

Çelik liflerin beton içerisindeki işlevi ile betonda kullanılan geleneksel donatının işlevi birbirinden farklıdır. Bir çok yerde donatı ve çelik lifler bir yere kadar aynı işlevi görse de, bunlar arasındaki en önemli fark beton içerisindeki fonksiyonları ve buradaki çatlakların kontrolünü nasıl ve ne zaman yaptıklarıdır. Statik hesaplar yapılırken çelik lifler, eğilme momentini alan hasır veya çubuk donatı gibi görülmemelidir. Çelik lifler, betonunu plastik bir davranışa iten malzemelerdir. Çelik lifli betonun özelliği, onun arttırılmış elastikiyet ve enerji yutma yeteneğidir [49].

Lifsiz betonlarda gerilme ile başlayan mikro çatlaklar, gerilme arttıkça çeşitli yönlerde ilerleyerek belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına yol açar. Lifli betonlarda ise ilk çatlak oluşumundan sonra çimento hamuru fazından liflere doğru gerilme transferi olur. Lifler, miktarları ve geometrik şekillerine bağlı olarak bu gerilmelerin bir kısmını taşırlar, bir kısmını betonun sağlam kısmına aktarırlar.

4.6. Çelik Lifli Betonların Özellikleri

Geleneksel beton içerisine farklı miktarlarda ve belirli özelliklerde çelik liflerin katılması ile normal betonun zayıf olarak bilinen birçok özelliğinin geliştirildiği, performansının arttırıldığı bilinmektedir. Çelik lifli betonlara lifsiz betona kıyasla geliştirilen özellikler ve bunların yaklaşık artış oranları Çizelge 4.2 'de özetlenmiştir [50].

Çizelge 4.2. Çelik Lifli Betonun Teknik Özellikleri [50].

Beton Özelliği	Artış (%)
Tokluk	100-1200
Darbe Dayanımı	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı	25-100
Çekme Dayanımı	25-100
Nihai Eğilme Dayanımı	50-100
Yorulma Dayanımı	50-100
Deformasyon Kapasitesi	50-100
Basınç Dayanımı	±25
Kavitasyon Dayanımı	300
Elastisite Modülü	±25

Yukarıda çizelgede de görüldüğü üzere çelik lifli beton geleneksel betondan oldukça farklı bir davranış gösterir. Çelik lifli beton daha fazla elastikiyet ve enerji yutma kapasitesi özelliklerine sahiptir. Çelik liflerin beton içerisindeki işlevi ile betonda kullanılan asıl donatının işlevi hiçbir zaman birbirine karıştırılmamalıdır. Bir çok yerde donatı ve çelik lif belli bir yere kadar aynı işlevi görse de bunlar arasındaki en önemli fark, beton içerisindeki fonksiyonları ve buradaki çatlakların kontrolünü nasıl ve ne zaman yaptıklarıdır.

4.7. Lifli Betonlar İle İlgili Kaynak Araştırması

Sertbaş (2006), tez çalışmasında KYB'larda polipropilen lif kullanılmasının betonun işlenebilirliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla sabit 0.47 su/toplam bağlayıcı oranına sahip üç farklı seri beton üretmiştir. Her üç seride de polikarboksilat esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı kullanmıştır. Her seride polipropilen lif miktarı biri şahit olmak üzere 3.5, 5.0, 7.0 kg/m³ olacak şekilde hacimce % 3.68, 5.26, 7.37 olarak kullanılıp 12 karışım yapmıştır. Sertbaş yaptığı

çalışmada, lif kullanılmasıyla işlenebilirliğin olumsuz etkilendiği belirlenmiş, bu nedenle kullanılan katkı miktarı lif miktarına bağlı olarak arttırmıştır. L-kutusu ve U-kutusu deneylerinde hacimce %3.68 (3.5 kg/m³) lif kullanımının betonda işlenebilirliğin korunduğu, bu değerden daha yüksek miktarda lif kullanımının betonun kendiliğinden yerleşen özelliği göstermediğini görmüştür. Sertleşmiş beton deneylerinde ise sabit su/çimento oranına sahip bütün numunelerde polipropilen lif kullanımının basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, hacimce % 7.37 (7.0 kg/m³) lif kullanımının eğilme mukavemetini ortalama %20 arttırdığını ve betonun daha sünek bir yapıda olduğunu görmüştür [51].

Bahadır (2010), tez çalışmasında polipropilen liflerin betonun mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırmıştır. 300 kg/m³ çimento dozajı ve 0/4-0/5-0/6 olmak üzere üç farklı su/çimento oranı kullanılarak hazırladığı karışımlara a 0.9 ve 1.8 kg/m³ oranlarında üç farklı polipropilen lif eklemiştir. Bahadır, elde ettiği numunelere standart küp ve prizma numuneler elde edilerek 7. ve 28. günlerde birim ağırlık, ultrases geçiş süresi, Schmidt çekici, basınç, yarmada çekme, eğilmede çekme deneyleri uygulamış; deney sonucunda monofilament polipropilen liflerin betonun çekme dayanımını önemli ölçüde arttırdığını, elyafımsı polipropilen liflerin ise beton boşluk oranını azalttığı ve betonun dayanıklılığına katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir [47].

Tezel (2010), tez çalışmasında farklı tiplerde lifler, çelik ve polipropilen lifler kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton numuneleri üretmiştir. Ürettiği KYB'lerin agrega hacmi, su miktarı ve su/bağlayıcı oranını sabit tutarak, çelik ve polipropilen liflerin miktar ve narinlikteki farkların, KYB'lerin işlenebilirlik, basınç dayanımı, elastisite modülü ve ultrases hızı gibi özelliklerine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, taze beton özelliklerinin negatif olarak etkilendiğini ve liflerin KYB için uygun olmadığını görmüştür. Sertleşmiş beton özelliklerinde ise; sabit su/çimento oranında lif oranının hacminin artması basınç dayanımını pozitif etkilediğini ancak elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisi olmadığını görmüştür [52].

Özcan (2003), tez çalışmasında, çelik lif katkılı üç adet 2000 mm boyunda, 250x350 mm kesitli betonarme kiriş ile çelik lifsiz aynı ebatta kirişler üretmiş ve 28 gün sonra bu kirişlere iki noktadan statik yükleme deneyi yapmıştır. Deney sonucunda, çelik lif katkısının betonarme kirişin taşıma gücünün ve sünekliliğinin arttığını görmüştür [53].

Caf (2012), tez çalışmasında, su/çimento ve çimento miktarı sabit tutarak polipropilen ve çelik lifler kullanarak numuneler üretmiştir. 1 m³ betonda %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında çelik lif ve 300 g, 600 g, 900 g, 1200 g ağırlığında polipropilen lif kullanmıştır. Ürettiği numunelerde taze betonda çökme değerlerini, sertleşmiş betonda ise basınç dayanımını, eğilme dayanımını ve darbe dayanımlarını belirlemiştir. Deney sonucunda en yüksek dayanımı %1 çelik lif katkılı betonlarda ve 300 g polipropilen lifli katkılı betonlarda olduğunu görmüştür. Darbe ve eğilme dayanımlarında ise lif ilavesi ile doğru orantılı şekilde artış gözlemiştir [54].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında; C20 beton üretilmiş olup, uçucu kül- lif katkısız, uçucu kül katkısız- %0,5 çelik lif katkılı, uçucu kül katkısız- %0,5 çelik lif katkılı- %0,5 polipropilen lif katkılı, uçucu kül katkısız- %0,5 çelik lif katkılı- %1 polipropilen lif katkılı, uçucu kül katkısız- %0,5 çelik lif katkılı- %1,5 polipropilen lif katkılı, %20 uçucu kül katkılı- lif katkısız, %20 uçucu kül katkılı- %0,5 çelik lif katkılı- %20 uçucu kül katkılı- %0,5 çelik lif katkılı- %0,5 polipropilen lif katkılı, %20 uçucu kül katkılı- %0,5 çelik lif katkılı- %1 polipropilen lif katkılı, %20 uçucu kül katkılı- %0,5 çelik lif katkılı- %1,5 polipropilen lif katkılı numunelerin her birin için; 6 adet standart küp numunelerden toplam 60 adet numune, 10x10x50 cm numunelerden 3 adet toplam 30 adet, Ø12 nervürlü çelik içeren 12x18x100 cm numunelerden 2 adet toplam 20 adet numune üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde basınç, eğilme ve aderans deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen karışımlar Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Elde Edilen Karışımlar

Karışım	Uçucu Kül	Çelik Lif	Polipropilen Lif
K1 (0uk+0ç+0pp)	%0	%0	%0
K2 (0uk+0,5pp+0st)	%0	%0,5	%0
K3 (0uk+0,5pp+0,5st)	%0	%0,5	%0,5
K4 (0uk+0,5pp+1st)	%0	%0,5	%1
K5 (0uk+0,5pp+1,5st)	%0	%0,5	%1,5
K6 (20uk+0pp+0st)	%20	%0	%0
K7 (20uk+0,5pp+0st)	%20	%0,5	%0
K8 (20uk+0,5pp+0,5st)	%20	%0,5	%0,5
K9 (20uk+0,5pp+1st)	%20	%0,5	%1
K10 (20uk+0,5pp+1,5st)	%20	%0,5	%1,5

5.1. Deneyde Kullanılan Materyaller

5.1.1. Agregalar

Deneyisel çalışmada üretilen betonlarda kırma kireç taşı kullanılmıştır. Kullanılan agregalar 0-4 mm, 4-11 mm ve 11-22 mm kırma kireç taşıdır. Beton üretiminde kullanılan en büyük agregalar tane boyutu 22 mm'dir. 1 m³ beton için kullanılan agregalar miktarı Çizelge 5.2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. 1 m³ Beton İçin Kullanılan Agregalar Miktarı

Agrega (kg)		
0-4 mm	4-11 mm	11-22 mm
1170	391	392

5.1.2. Çimento

Bu çalışmada, özgül ağırlığı 3.06 kg/dm³ olan PÇ 42.5 CEM I çimentosu kullanılmıştır. Konya Çimento A.Ş. tarafından üretilen çimentonun TS EN 197-1'e uygunluğu, fabrika laboratuvarında test edilmiştir. Bulunan değerler ve TS EN 197-1'e uygunluğu Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Çimentoya Ait Konya Çimento A.Ş. Laboratuvarlarında Bulunan Değerler ve TS EN 197-1'de İstenen Değerler

Kimyasal özellikler	Elde edilen değerler	TS EN 197-1'de (TS 19) istenen değerler	
		En az	En çok
Kızdırma kaybı (%)	4.33		5.00
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.26		5.00
Kükürt trioksit (SO ₃) (%)	2.85		3.50
Klorür (Cl) (%)	0.0120		0.10
Fiziksel özellikler			
2 günlük basınç dayanım (N/mm ²)	22.7	10.0	
7 günlük basınç dayanım (N/mm ²)	35.0		
28 günlük basınç dayanım (N/mm ²)	45.3	42.5	62.5
Priz başlangıcı (min)	145	70	
Hacim genişmesi (mm)	1		10

5.1.3. Çelik Lif

Bu çalışmada, HE0960 çelik lifler kullanılmıştır. HE0960 çelik liflerin özelliği Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. HE0960 Çelik Liflerin Özellikleri [55].

BETONFİBER HE0960 ÇELİK FİBER	
Standart	ASTM A820/A820M – 04 Type 1 cold drawn wire
Görünüm	Parlak, Çelik Tel
Tip	Soğuk Çekme
Kenar	Kıvrımlı
Açı	45 ⁰
Fiber Uzunluk	60 mm
Çap	0.9 mm
Çekme Mukavemeti	1100 Mpa
Narinlik Oranı	66
Paketleme	20 kg ya da 25 kg
Paket Kilogram	1 Tonluk Palet (25 kilogramlık Torba)

5.1.4. Polipropilen Lif

Bu çalışmada, BF 12 polipropilen lifler kullanılmıştır. BF 12 polipropilen liflerin özelliği Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. BF 12 Polipropilen Liflerin Özellikleri [56].

BF12 PoliPropilen ELYAF	
Standart	ASTM CIII6 CE, EN 14889-2BBA 92/2830
Görünüm	Doğal Beyaz Lif
Tip	Polipropilen
Saflık	%100 Saf
Yoğunluk	0.91 g/ cm ³
Uzunluk	6 mm - 12 mm - 19 mm
Kesit & Çap	Dairesel 18 µm - 20 µm
Kullanım Alanları	BF12 Şap Betonlar
Çekme Mukavemeti	450-700 N/ mm ² (Mpa)
Elastisite Modülü	3000-3500 N/ mm ² (Mpa)
Erime Noktası	162 °C
Yanma Noktası	593 °C
Asit Reaksiyonu	Asit etkisine karşı dayanıklı
Tuz Reaksiyonu	Tuz etkisine karşı dayanıklı
Alkali Reaksiyonu	Alkali etkisine karşı dayanıklı
UV Direnci	UV etkisine karşı dayanıklı
Oksidasyon Direnci	Yüksek
Aşınma Dayanımı	Yüksek
Çimento İle Uyum	Çok İyi
Nem Tutma	0
Raf Ömrü	Kuru ortamda sınırsız
Ambalaj	Suda eriyebilen 600 gramlık paketler halinde kolide 21 kg

5.1.5. Uçucu Kül

Bu çalışmada Zonguldak Çatalağzı termik santrali F sınıfı uçucu külü kullanılmıştır. Çatalağzı Uçucu Külünün Kimyasal Analiz Sonuçları ve Çatalağzı Uçucu Külünün Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’da verimiştir.

Çizelge 5.6. Çatalağzı Uçucu Külünün Kimyasal Analiz [57]

Numune								
Oksit (%)	1	2	3	4	5	Ortalama	St.sapma	Varyasyon kats. %
SiO_2	58.69	58.48	58.55	58.95	59.07	58.75	0.25	0.43
A_2O_3	25.10	25.34	25.48	24.94	25.36	25.24	0.22	0.87
Fe_2O_3	5.80	5.77	5.66	5.81	5.74	5.76	0.06	1.05
S+A+F	89.59	89.59	89.69	89.70	90.17	89.75	-	-
CaO	1.49	1.48	1.34	1.55	1.45	1.46	0.08	5.48
MgO	2.22	2.22	2.22	2.22	2.20	2.22	0.01	0.45
SO_3	0.12	0.12	0.10	0.03	0.05	0.08	0.04	50.00
K_2O	4.04	4.09	4.04	4.02	4.05	4.05	0.03	0.74
Na_2O	0.59	0.59	0.59	0.61	0.61	0.60	0.01	1.83
KK	1.28	1.01	1.33	1.02	0.98	1.12	0.17	15.18
Cl	0.013	0.027	0.011	0.016	0.010	0.015	0.007	50.00

Çizelge 5.7. Çatalağzı Uçucu Külünün Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi [57]

Standartlara Uygunluk Sınırları							
Oksit (%)	Uçucu Kül	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618	
			V	W		F	C
SiO ₂	58.75						
A ₂ O ₃	25.24						
Fe ₂ O ₃	5.76						
S+A+F	89.75				>70.00	>70.00	>50.00
CaO	1.46						
MgO	2.22				<5.00		
SO ₃	0.08	<3.00			<5.00	<5.00	<5.00
K ₂ O	4.05						
Na ₂ O	0.60						
KK	1.12	<5.00	<5.00	<5.00	<10.00	<5.00	<6.00
Cl	0.015	<0.10					
Serb.CaO	0.13	<1.00					
Reak.SiO ₂	34.18	>25.00	>25.00	>25.00			
Reak.CaO	0.65		>10.00	>10.00			

5.1.6. Karışım Suyu

Bu çalışmada, KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

5.2. Yapılan Deneyler

5.2.1. Çökme (Slump) Deneyi

Taze beton üzerinde yapılan bu deney TS EN 12350-2 Taze Beton Deneyleri-Çökme Deneyi'nde verilen şekilde uygulanmıştır. Taze beton ters huni şekilli kaba üç tabaka halinde doldurularak 25'er kez şişlenmiş ve sıkışması sağlanmıştır. Daha sonra ters huni dik şekilde yukarı doğru çekilerek betonda meydana gelen çökme metre vasıtasıyla ölçülmüştür. Çizelge 5.1'de üretilen belirli miktardaki çelik, polipropilen lif ve uçucu kül içeren betonlarda meydana gelen çökme değerleri birbirleriyle karşılaştırılarak bu betonların işlenebilme özelliğine nasıl bir etki yaptığı araştırılmıştır.



Şekil 5.1. Çökme Deneyi

5.2.2. Basınç Deneyi

Çizelge 5.1’de üretilen belirli miktardaki çelik, polipropilen lif ve uçucu kül içeren 150x150x150 mm boyutlarındaki 60 adet küp numuneler üzerinde 7. ve 28. günde

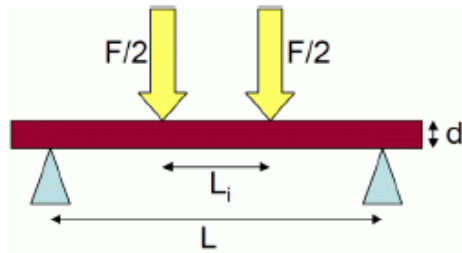
TS EN 12390-3 Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini adlı standartta belirtilen basınç deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 5.2. Basınç Deneyi

5.2.3. Dört Noktalı Eğilme Deneyi

Dört noktalı eğmede, iki mesnedin üzerinde duran numuneye düşey yönde iki eşit kuvvet uygulanır. Dört noktalı eğilmede maksimum moment belirli bir aralıkta değer alır ve bu aralıkta kesme kuvveti sıfırdır. Bir başka deyişle, dört noktalı eğilmede salt eğilme hali söz konusudur. Dolayısıyla bu yöntem daha sağlıklı sonuçlar vermektedir



Şekil 5.3 Dört noktalı eğilme deneyi şeması

Dört noktalı eğmede silindirik numuneler için eğilme dayanımı:

$$\sigma_e = 3.F . (L-L_i) / 2.b.d^2$$

Denklem 5.1

σ_e : Numunenin eğilme dayanımı,

F : Kırılmaya neden olan yük,

L : Deneş numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi,

L_i : Uygulanan düşey yük noktaları arası mesafe,

b : Deneş numunesinin genişliği,

d : Deneş numunesinin kalınlığı.

Bu çalışmada Çizelge 5.1'de üretilen belirli miktardaki çelik, polipropilen lif ve uçucu kül içeren 30 adet 100x100x500 mm beton numuneler üzerinde dört noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Bu çalışmada L: 400 mm, L_i : 100 mm, b ve d: 100 mm alınarak deneş yapılmıştır.

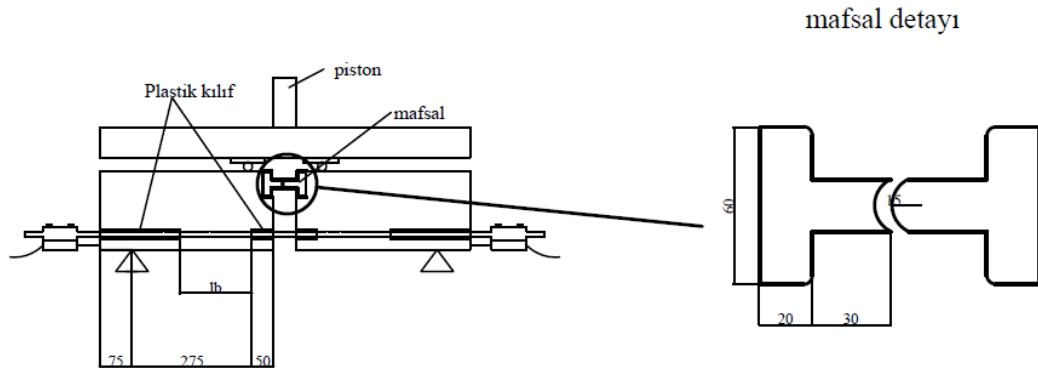


Şekil 5.4 Dört noktalı eğilme deneyi

5.2.4. Aderans Deneyi

Bu çalışmada, mafsallı kiriş yöntemiyle aderans deneyi yapılmıştır. Bu yöntem kirişin ortasından uygulanan düşey bir P dış yükü altında, çekme bölgesindeki donatının betondan sıyrılmalarının tespit edilmesinden ibaret olan bir kiriş deneyidir.

Deneyde, yük hücresi ile düşey yönde uygulanan yük bilgisayara aktarılmakta ve bu yük aracılığıyla izostatik basit kiriş için denge denklemleri kullanılarak çelik mafsalda moment sıfır olduğundan donatıdaki F hesaplanmaktadır. Deney düzeneği Şekil 5.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Mafsallı kiriş aderans deneyi şeması

Bu çalışmada Çizelge 5.1'de üretilen belirli miktardaki çelik, polipropilen lif ve uçucu kül içeren 10 farklı karışımdan her bir karışım için aderans boyları 60 mm ve 120mm olmak üzere 20 adet 180x120x900 mm beton numuneler üzerinde mafsallı kiriş yöntemiyle aderans deneyi yapılmıştır.



Şekil 5.6. Mafsallı kiriş aderans deneyi

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Çizelge 6.1.' de elde edilen elde edilen karışımlardan her biri için üçer adet 7 ve 28 günlük 150x150x150 mm küp numuneler üzerinde basınç deneyi, 100x100x500 mm boyutlarında numuneler üzerinde dört noktalı eğilme deneyi, 120x180x900 mm boyutlarında numuneler üzerinde mafsallı kiriş yöntemiyle aderans deneyi yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.2, 6.3 ve 6.4 verilmiştir. verilmiştir. Bu sonuçlara göre;

1. İlave edilen uçucu kül, polipropilen lifler ve çelik lifler beton dayanımını olumsuz etkilemiştir.
2. İkame metoduyla %20 uçucu kül ilave edilen numunelerde 7 günlük basınç dayanımında, 28 günlük numunelere göre daha az dayanım kaybı vardır.
3. K8 (%20 UK+ %0.5PP+ %0.5 ST), K9 (%20 UK+ %0.5PP+ %1 ST) ve K10 (%20 UK+ %0.5PP+ %1.5 ST) karışımlarından elde edilen dayanım değerleri çok düşüktür. Sırasıyla ortalama 7 günlük dayanımlar 5.061, 9.218, 12.387 N/mm², 28 günlük dayanımlar 5.534, 11.695 ve 16.274 N/mm²' dir.
4. Uçucu kül ilave edilmeden en düşük dayanıma sahip karışım K5 (%0.5PP+ %1.5 ST) iken %20 kül ilaveli karışımda K8 (%20 UK+ %0.5PP+ %0.5 ST) olmuştur.
5. Çelik lifler basın dayanımını önemli derecede düşürmüştür.
6. %20 Uçucu kül ilave edilen numunelerde eğilme dayanımının arttığı görülmüştür.
7. %0.5 polipropilen lif katkısı çelik lifsiz betonlarda eğilme dayanımını arttırırken, çelik lifli betonlarda eğilme dayanımı uçucu kül ilavesi ve çelik lif oranına göre değişmektedir.
8. Uçucu kül ilavesiz betonlarda çelik lif katkısı eğilme dayanımını düşürmüştür.
9. Uçucu kül ilaveli betonlarda %0.5 çelik lif katkılı numunelerde dayanım düşerken, %1 ve %1.5 çelik lif katkılı numunelerde eğilme dayanımı artmıştır.
10. En düşük eğilme dayanımına sahip numuneler K5 (%0uk+%0.5pp+%0.5st) karışımına sahip numuneler iken, en yüksek eğilme

dayanımına sahip numuneler K2 (%0uk+%0.5pp+%0st) karışımına sahip numunelerdir.

11. Çelik lif katkıli betonlarda sıyrılmaya meydana gelmiş ve donatı betonun sıyrılmıştır. Çelik lifler betonun donatının çevreleyip sarmasını engellediği görülmüştür.

12. Lifsiz betonlarda donatı sıyrılmaya yükü daha fazladır. Yukarıdaki basınç deneyinde de görüldüğü gibi lif katkıli betonların dayanımı düşmüş olup, dayanımı yüksek betonlarda aderans daha iyi olduğu görülmüştür.

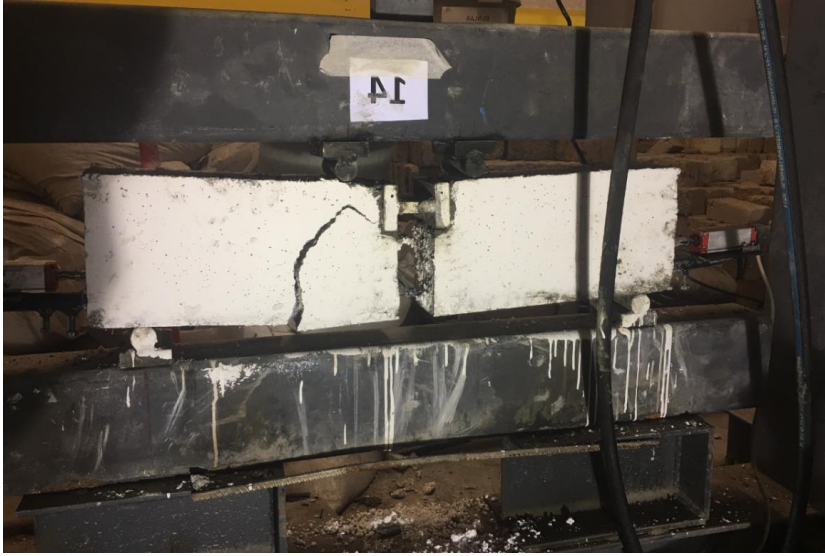
13. Lif katkısiz betonlar için 6 ve 12 cm'de kenetlenme tam sağlanmıştır. Donatıda sıyrılmaya olmadan beton kırılmıştır. Şekil 6.1'de aderansı tam olan ve kırılan numuneler görülmektedir.

14. Lif katkısiz betonlar için 6 ve 12 cm'de kenetlenme tam sağlanmıştır. Donatıda sıyrılmaya olmadan beton kırılmıştır. Şekil 6.1'de aderansı tam olan ve kırılan numuneler görülmektedir.

15. En kötü aderansa sahip numune %20 uçucu kül, %0.5 polipropilen lif ve %0.5 çelik lif katkıli betona sahip numune N11(20uk+0.5pp+0.5st)'dir. Bu karışıma sahip numune aynı zamanda en düşük dayanıma sahip numunedir.







Şekil 6.1 Aderansı Tam Olan ve Kırılan Numuneler

Çizelge 6.1. Elde Edilen Karışımlar ve Slump Değerleri

Karışım	Uçucu Kül	Çelik Lif	Polipropilen Lif	Slump mm
K1 (0uk+0st+0pp)	%0	%0	%0	200
K2 (0uk+0,5pp+0st)	%0	%0,5	%0	190
K3 (0uk+0,5pp+0,5st)	%0	%0,5	%0,5	150
K4 (0uk+0,5pp+1st)	%0	%0,5	%1	60
K5 (0uk+0,5pp+1,5st)	%0	%0,5	%1,5	40
K6 (20uk+0pp+0st)	%20	%0	%0	240
K7 (20uk+0,5pp+0st)	%20	%0,5	%0	160
K8 (20uk+0,5pp+0,5st)	%20	%0,5	%0,5	130
K9 (20uk+0,5pp+1st)	%20	%0,5	%1	110
K10 (20uk+0,5pp+1,5st)	%20	%0,5	%1,5	70

Çizelge 6.2. Basınç Deneyi Sonuçları

Karışım	Numune No	7 Günlük Dayanım	28 Günlük Dayanım	Ort. 7 Günlük Dayanım	Ort. 28 Günlük Dayanım
K1 (0uk+0st+0pp)	1	27.747	34.622	24.975	33.098
	2	19.609	32.711		
	3	27.569	31.960		
K2 (0uk+0,5pp+0st)	1	11.991	21.884	13.947	21.419
	2	16.493	20.218		
	3	13.356	22.156		
K3 (0uk+0,5pp+0,5st)	1	12.556	15.756	14.545	14.370
	2	15.124	14.044		
	3	15.711	13.311		
K4 (0uk+0,5pp+1st)	1	14.280	22.511	14.910	22.807
	2	17.920	22.027		
	3	12.529	23.867		
K5 (0uk+0,5pp+1,5st)	1	10.764	16.489	10.117	13.896
	2	10.484	12.120		
	3	9.102	13.080		
K6 (20uk+0pp+0st)	1	21.289	27.102	21.655	25.803
	2	21.871	27.250		
	3	21.804	23.027		
K7 (20uk+0,5pp+0st)	1	21.947	26.871	22.769	27.514
	2	23.018	27.493		
	3	23.342	28.178		
K8 (20uk+0,5pp+0,5st)	1	5.124	5.458	5.081	5.524
	2	5.280	5.302		
	3	4.778	5.813		
K9 (20uk+0,5pp+1st)	1	9.116	13.227	9.218	11.695
	2	8.218	10.756		
	3	10.320	11.102		
K10 (20uk+0,5pp+1,5st)	1	12.431	15.778	12.381	16.274
	2	12.867	16.920		
	3	11.844	16.124		

Çizelge 6.3. Dört Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçları

Karışım	Numune No	Maks. Yük kN	Eğilme Dayanımı Mpa	Ort. Eğilme Dayanımı Mpa
K1 (0uk+0st+0pp)	1	11.20	13.44	9.35
	2	7.27	8.72	
	3	4.92	5.90	
K2 (0uk+0,5pp+0st)	1	13.43	16.11	13.61
	2	10.74	12.89	
	3	9.85	11.82	
K3 (0uk+0,5pp+0,5st)	1	6.98	8.38	8.33
	2	6.33	7.60	
	3	7.52	9.02	
K4 (0uk+0,5pp+1st)	1	6.82	8.19	8.77
	2	6.89	8.27	
	3	8.20	9.84	
K5 (0uk+0,5pp+1,5st)	1	2.65	3.18	3.01
	2	1.20	1.44	
	3	3.74	4.41	
K6 (20uk+0pp+0st)	1	8.65	10.38	10.34
	2	6.82	8.19	
	3	10.32	12.45	
K7 (20uk+0,5pp+0st)	1	9.65	11.58	11.59
	2	8.94	10.73	
	3	10.37	12.45	
K8 (20uk+0,5pp+0,5st)	1	4.76	5.71	5.18
	2	4.06	4.87	
	3	4.12	4.95	
K9 (20uk+0,5pp+1st)	1	11.04	13.25	11.45
	2	8.42	10.11	
	3	9.15	10.98	
K10 (20uk+0,5pp+1,5st)	1	11.51	13.81	13.20
	2	11.02	13.22	
	3	10.48	12.57	

Çizelge 6.4. Aderans Deneyi ve Sonuçları

Numune	Aderans Boyu cm	Sıyırılma Yüğü kN	Sıyırılma Boyu mm
N1 (0uk+0.5pp+1st)	6	12.293	1.31
N2(0uk+0.5pp+0.5st)	12	21.579	0.84
N3(20uk+0pp+0st)	6	27.5	Beton kırıldı
N4(0uk+0.5pp+1.5st)	6	11.015	0.073
N5(20uk+0.5pp+1st)	6	12.244	0.024
N6(0uk+0.5pp+1.5st)	12	23.066	0.043
N7(20uk+0.5pp+1.5st)	12	11.275	1.5
N8(0uk+0pp+0st)	12	33.748	Beton kırıldı
N9(0uk+0pp+0st)	6	22.894	Beton kırıldı
N10(0uk+0.5pp+0st)	12	27.810	Beton kırıldı
N11(20uk+0.5pp+0.5st)	6	4.961	1.40
N12(20uk+0.5pp+0.5st)	12	19.575	2.14
N13(20uk+0pp+0st)	12	37.441	Beton kırıldı
N14(20uk+0.5pp+0st)	6	30.002	Beton kırıldı
N15(20uk+0.5pp+0st)	12	36.436	Beton kırıldı
N16(0uk+0.5pp+0st)	6	23,564	Beton kırıldı
N17(0uk+0.5pp+0.5st)	6	7.038	0.39
N18(0uk+0.5pp+1st)	12	24.086	2.003
N19(20uk+0.5pp+1st)	12	24.42	0,056
N20(202uk+0.5pp+1.5st)	6	6.524	0.065

KAYNAKLAR

- [1] Z. Celep, Betonarme yapılar, 6. Baskı, İstanbul, Türkiye, Beta Dağıtım, 2011.
- [2] Beycioğlu, A., 2013, Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Beton ile Donatı Aderansı İlişkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [3] Popal, M., 2015, Düşük Dayanımlı Betonlarda Aderans ve Sıyrılma İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- [4] Koç, Ö., 2009, Beton Mukavemetinin Beton Donatı Aderansının Yorulmasına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale
- [5] TS 500, 2000 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara
- [6] Duran, A., 2008, Betonarme Donatısında Aderans ve Yorulma, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale
- [7] Ersoy, U. ve Özcebe, G. Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Genişletilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2001
- [8] Orbay, A., Betonarme 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005
- [9] Arslan, M. E., 2007, “Eğilmede taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi” Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- [10] Türk, K., 2002, Bileşik Eğilmeye Maruz Betonarme Elemanlarda Donatı Aderansının Beton Özelliklerine Bağlı Olarak İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bil. Ens. İnşaat Müh. A.B.D., Doktora Tezi, Elazığ
- [11] Benli, A., 2007, Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ
- [12] Dahil, H., 2001 Yüksek performanslı beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- [13] Coşkun, A., 2013, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri ve Aderans Dayanımı Üzerine Agregasyonun Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

- [14] Döndüren, M. S. , Betonla Donatı Arasındaki Aderans Davranışının Deneysel İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, c.21, s.3-4, 2006
- [15] Arslan, T., 2017, Beton Dayanımı ve Kenetlenme Boyunun Beton- Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyi İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce
- [16] Seis, M., 2017, Mafsallı Kiriş Yöntemiyle Bazalt Lifli Kompozit Donatının Aderans Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce
- [17] Arel, H. Ş., 2012, Değişik Parametrelerin Beton İle Çelik Donatı Aderansına Etkisi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- [18] Erten, K. M., 2009, Katkılı Betonların Aderans Dayanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- [19] Kurt, B., 2006, Betonarme Donatıların Aderans Eki Deneylerinde Boyut Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [20] POSTACIOĞLU, B., Bağlayıcı Maddeler Cilt-1, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1986.
- [21] KOCATAŞKIN, F., “Yeni Gelişen Beton Malzemeleri”, İleri Beton Teknolojisi Ders Notları, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1987.
- [22] ASTM C 618, 1998. Standart Specification for Coal Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete. Annual Book of ASTM Standarts, No.4.
- [23] TS EN 197-1, 2002. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [24] ARUNTAŞ, H.Y., 2006 “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 1, 193-203, Ankara.
- [25] ERDOĞAN, M., 2006 “Türkiye Döküm Bentoniti Potansiyeline Genel Bakış: Güncel Durum, Öngörüler Ve Sorunlar”, Kil Bilim ve Teknolojisi Dergisi, 1 (1) (2006) 1-5, İstanbul.

- [26] TÜRKER, P., ERDOĞAN, B., KATNAŞ, F. VE YEĞİNOBALI, A., Uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 2003.
- [27] ÖNER, A., 2005, Uçucu Kül ve Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu İçeren Betonların Mekanik ve Durabilite Özellikleri Açısından Optimum Bileşiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [28] TS EN 450, 1998, Uçucu Kül, Betonda Kullanılan Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [29] KARAHAN, O., Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [30] Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi” 3, Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş, Ankara, Pp23,46,153-172,97-109, 2004.
- [31] Tokyay, M. ve Ark., “Termik Santral Küllerinin Çimento ve Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılma İmkanlarının Etüt ve Envanteri Projesi Raporu”. TC Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı, Teknoloji ve Ekonomi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1990.
- [32] Baharavar, S., R., 2012, Karbonatlaşmanın Çelik Lifli ve Uçucu Küllü Betonlarda Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [33] Hearn, N., Hooton, R. D., and Mills, R. H., “Pore Structure and Permeability”, Concrete and Concrete-Making Materials, Edited by: Klieger, P. and Lamond, J., ASTM STP 169C, 240-262 1994.
- [34] Newman, J., Choo, B. S., “Advanced Concrete Technology”, Butterworth-Heinemann, An Imprint of Elsevier, 2003.
- [35] Morrison. R.E. “A Review of Ash Specifications.” Symposium on Fly Ash Utilization, Pittsburgh, pp. 24-31 (1970).
- [36] Topçu İ. B., Canbaz M., Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri, Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi C.XIV, S.2, 2001
- [37] Demir İ., Aynı Oranlarda İkame Edilen Silis Dumanı ve Uçucu Külün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Int.J.Eng.Research & Development, Vol.1, No.2, June 2009

- [38] Kandil, U., 2014, Uçucu Kül ve Silis Dumanı İçeren Betonların Geçirimlilik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- [39] Akyüncü. V., 2012, F ve C Tipi Uçucu Küllerin Çimento İle İkame Edilmesiyle Üretilen Betonların Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerinin Karşılaştırılarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [40] Karateke, S., K., 2009, F Tipi Uçucu Kül Kullanılmış Betonların Kül Etkinlik Katsayıları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [41] Tangüner, R., 2007, Uçucu Küllü Düşük ve Yüksek Mukavemetli Betonların Elastiklik Modülünün İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [42] Anuk, O., 2004, CEM I 42,5 Çimentolu Düşük Dozajlı Betonlarda F Tipi Uçucu Külün Etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [43] Tuygun. C., S., 2002, Çayırhan Uçucu Külünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Faktörünün İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [44] Uğurlu, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Özellikleri ve Su Yapılarında Kullanılması, DSİ Teknik Bülteni, 1994
- [45] Türker, S., Balanlı, A., 1992, Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [46] Biber, Ş. A., 2001, Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [47] Bahadır, F., 2010, Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [48] Acun, S., 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [49] Aslan A., Aydın A.C., Lifli Betonların Genel Özellikleri, Hazır Beton Dergisi, Kasım-Aralık, 1999

- [50] Ugurlu, A., 1994, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Özellikleri ve Su Yapılarında Kullanılması, DSİ Teknik Bülteni, (80): s. 17-25.
- [51] Sertbaş, B., 2006, Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [52] Tezel, O.,O., 2010, Farklı Tiplerdeki Çelik ve Polipropilen Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirliğe ve Mekanik Davranışa Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [53] Özcan, D., M., 2003, Betonarme Kiriş elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [54] Caf. M., 2012, Çelik ve Polipropilen Lifli Betonların Darbe Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [55] www.betonfiber.com/celik-teller
- [56] www.betonfiber.com/mikrofiber-donati
- [57] Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, TÇMB, 2009, Ankara

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ŞAHİN Abdullah
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 09.12.1985 Yeniköy/Söke
Medeni hali : Evli
e-mail : abduhahin85@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Selçuk Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2011	Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi
2011-	Konya Çevre ve Şehircilik İl Müd.	İnşaat Mühendisi