

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ATIK ALÜMİNYUM TALAŞ TAKVİYELİ BETONUN
YÜKSEK SICAKLIK ALTINDAKİ
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Abdullah KUZU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

Yapı Malzemeleri Bilim Dalı

OCAK-2020

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı
Yapı Malzemeleri Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ATIK ALÜMİNYUM TALAŞ TAKVİYELİ BETONUN YÜKSEK
SICAKLIK ALTINDAKİ
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Tez Yazarı
Abdullah KUZU

Danışman
Prof. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR

OCAK 2020
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Atık Alüminyum Talaş Takviyeli Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışının İncelenmesi

Yazarı: Abdullah KUZU

İlk Teslim Tarihi: 24.12.2019

Savunma Tarihi: 20.1.2020

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Prof. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Onayladım


Başkan: Prof. Dr. Bahar DEMİREL
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Onayladım


Üye: Prof. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Onayladım


Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet BENLİ
Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

Onayladım


Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Atık Alüminyum Talaş Takviyeli Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışının İncelenmesi ” yüksek lisans tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

20/01/2020
Abdullah KUZU



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında yüksek sıcaklığa maruz kalan betonda meydana gelen olumsuz yıkıcı etkileri azaltabilmek amacıyla, metal endüstrisi atığı olan alüminyum talaşını beton harcına ilave ederek betonun mekanik-fiziksel etkilerini iyileştirmek ve atık alüminyumların etkili bir şekilde kullanılarak çevre kirliliğini azaltmak ve ekonomiye katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Yüksek lisans çalışmalarımda, bilgi birikimleriyle bana yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Prof .Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR hocama, ayrıca Prof.Dr. Bahar DEMİREL ve Dr.Öğr. üyesi Erdiñç ARICI hocalarıma teşekkür ederim.

Bu süreçte manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli eşim Yeşim KUZU'ya ve çalışmamda bana yardımcı olan arkadaşım Hakan AYHAN'a teşekkür ederim.

ELAZIĞ-2020

Abdullah KUZU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Tezin Önemi	1
1.3. Tezin Kapsamı	2
2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ	3
2.1. Yüksek Sıcaklık Kaynakları.....	3
2.1.1. Endüstri fırın bacaları	4
2.1.2. Hava alanı pistleri.....	4
2.2. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkileri	4
2.3. Yüksek Sıcaklıkta Beton Davranışıyla İlgili Bazı Çalışmalar.....	6
3. BETON	10
3.1. Betonun Kalitesi	10
3.2. Betonun Termik Özellikleri	13
3.3. Beton Kalitesini Belirlemede Kullanılan Bazı Yöntemler	15
3.3.1. Betonun Basınç Dayanımı	15
3.3.2. Betonun Çekme Dayanımı	16
3.3.3. Betonun Ultrases Geçiş Hızı	20
3.3.4. Beton porozitesi.....	23
4. MATERYAL VE METOT.....	24
4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	24
4.2. DeneY Numunelerinin Özellikleri ve Üretimi	27
4.2.1. Beton bileşimleri	27
4.2.2. Numunelerin üretimi	27
4.3. Numuneler Üzerinde Yapılan DeneYler	28
4.3.1. Basınç Dayanımı DeneYi.....	29
4.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı DeneYi.....	29
4.3.3. Ultrases geçiş hızı deneYi	30
4.3.4. Porozite deneYi	31
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
5.1. Basınç Dayanımları DeneY Sonuçları	32
5.2. Yarmada Çekme Dayanımları DeneY Sonuçları	35
5.3. Ultrases Geçiş Hızı DeneY Sonuçları	36
5.4. Porozite DeneY Sonuçları.....	38
6. SONUÇLAR	39
ÖNERİLER.....	41

KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Atık Alüminyum Talaş Takviyeli Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışının İncelenmesi

Abdullah KUZU

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı
Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı
Ocak 2020, Sayfa xi+44

Bu tez çalışmasında ince agregâ ile yer değiştiren şekilde alüminyum talaşı ilave edilmiş beton numunelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, S/Ç oranı; 0.40, 0.50 ve 0.60 olan beton numunelerine, %0.50 ve % 1.00 oranlarında atık alüminyum talaşı, ince agregâ ile yer değiştiren şekilde ilave edildi ve elde edilen numuneler 400, 500 ve 600 derecedeki sıcaklıklara maruz bırakıldı. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası beton numuneler üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve porozite deneyleri yapılmıştır.

Alüminyum talaşı ilavesine bağlı olarak beton numunelerinin basınç ve çekme dayanımlarında düşüşler gözlenmiştir. Atık alüminyum talaşı kullanılmış tüm numunelerde, porozite değerlerinde artış meydana gelirken, ultrases geçiş hızı değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. En belirgin artışlar S/Ç oranı 0,40 olan numunelerde görülmüştür. Sıcaklığın 500 °C ve 600 °C'ye artırılmasıyla basınç dayanımında ve yarmada çekme dayanımında düşüşler olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atık alüminyum talaşı, Basınç dayanımı, Yarmada çekme dayanımı, Porozite, Ultrases geçiş hızı

ABSTRACT

The Investigation of The Behaviour of Concrete Reinforced with Waste Aluminium Shavings Under High Temperature

Abdullah KUZU

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering
Program of Construction Materials Technologies
January 2020, Page xi+44

In the present study, the effects of high temperature on mechanical and physical characteristics in concrete samples reinforced with aluminum sawdust to replace aggregate have been analyzed. For this purpose, %0.50 and %1.00 of waste aluminum sawdust were added to concrete samples with 0.40, 0.50 and 0.60 of S/C ratio to replace aggregate and obtained samples were exposed to temperature of 400, 500 and 600 degrees. Compressive strength, tensile splitting strength, ultrasonic pulse velocity and porosity tests have been performed on concrete samples before and after high temperature.

Decreases have been observed in compressive strength and tensile splitting strength based on reinforced with aluminum sawdust. It has been observed in all samples with waste aluminum sawdust that ultrasonic pulse velocity values decreased while porosity values increased. The most important increases were observed in samples with 0.40 of S / C ratio. By increasing the temperature to 500 °C and 600 °C, it has been seen the decreases in compressive strength and tensile splitting strength.

Keywords: Waste aluminum shavings, Compressive strength, Splitting Tensile, Porosity, ultrasonic pulse velocity

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Standart sıcaklık-zaman eğrisi.	3
Şekil 3.1.	Basınç dayanımı ve S/Ç oranı arasındaki ilişkisi.	13
Şekil 3.2.	Doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi.	17
Şekil 3.3.	Silindir numune üzerindeki yarmada çekme deneyi.	18
Şekil 3.4.	Küp numune üzerinde yarmada çekme deneyi.	18
Şekil 3.5.	Üç nokta eğilme deneyi.	19
Şekil 3.6.	Dört nokta eğilme deneyi.	19
Şekil 3.7.	Betonun basınç - çekme mukavemetleri arasındaki ilişki.	20
Şekil 3.8.	Ultrases yöntemi deney düzeneği.	21
Şekil 3.9.	Ultrases yöntemi deneyinin farklı şekillerde uygulanma düzeneği.	22
Şekil 4.1.	Agrega en büyük tane büyüklüğü 8,0 mm olan beton için belirlenen agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar.	25
Şekil 4.2.	Beton numunelerde kullanılmış atık alüminyum talaş görüntüsü.	26
Şekil 4.3.	Yüksek sıcaklık fırını.	28
Şekil 4.4.	Basınç pres makinası.	29
Şekil 4.5.	Yarmada çekme dayanımlarında küp numune yerleştirilmiş pres görüntüsü.	30
Şekil 4.6.	Ultrases geçiş hızı deneylerinde kullanılan cihaz görüntüsü.	30
Şekil 4.7.	Porozite yüzdesini belirlemek için kullanılan tartı görüntüsü.	31
Şekil 5.1.	Basınç Dayanım-Sıcaklık grafiği.	32
Şekil 5.2.	Oda sıcaklığında alüminyum talaşı katkılı beton numunesi SEM görüntüsü.	33
Şekil 5.3.	400 °C'de alüminyum talaşı katkılı beton numunesi SEM görüntüsü.	34
Şekil 5.4.	600 °C'de alüminyum talaşı katkılı beton numunesi SEM görüntüsü.	35
Şekil 5.5.	Yarmada Çekme Dayanım-Sıcaklık grafiği.	35
Şekil 5.6.	Oda sıcaklığındaki alüminyum talaşı katkılı beton numunesi SEM görüntüsü.	36
Şekil 5.7.	Ultrases Geçiş Hızı-Sıcaklık grafiği.	37
Şekil 5.8.	Porozite-Sıcaklık grafiği.	38

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Betonun dayanımını etkileyen parametreler.	11
Tablo 3.2. Ultrases dalgası geçiş hızı ve beton kalitesi ilişkisi	21
Tablo 4.1. Hazırlanan numunelerde kullanılan çimentoya ait kimyasal bileşim ve mekanik özellikler	24
Tablo 4.2. Hazırlanan numunelerde kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler	25
Tablo 4.3. Deney için hazırlanan numunelere ait karışım oranları (kg/m ³)	27

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

- S/Ç** : Su / Çimento
T.O : Talaş Oranı
C-S-H : Kalsiyum Silikat Hidrat



1. GİRİŞ

Tüm dünyada beton yaygın bir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Beton; gerekli miktarlarda çimento, agrega, su karışımının yanı sıra ihtiyaç durumunda katkı maddesinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen kompozit yapı malzemesidir.

Betonun kompozit bir malzeme olmasından dolayı, iç yapısındaki bileşenlerin termal genişmelerinde farklılıklar olmaktadır. Özellikle betonda sıcaklık değişimleri, beton iç yapısındaki bu bileşenlerde, her biri farklı hacim değişmelerine, çatlaklıkların oluşumuna dolayısıyla betonun dayanıklılığında azalmalara sebep olmaktadır [1].

Yüksek sıcaklık, yapının durabilite sorununa yol açan başlıca fiziksel etkilerden birisidir. Durabilite etkisi, yapılarda geri dönülmez hasarlar oluşturarak yapının işlevsiz hale gelerek, can ve mal kayıplarının meydana gelmesine sebep olabilmektedir [2].

Yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonarme yapılarda, sıcaklık artışına bağlı olarak fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde değişiklikler görülür. Oluşan bu değişiklikler, çatlak oluşumu, parçalanma, dağılma şeklinde olurlar ki bunlarda betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalmalara neden olur. Yine bu durum betonarme içindeki çelik malzemede çekme ve akma dayanımları ile duktilitede düşümlere sebep olmaktadır [3].

1.1. Tezin Amacı

Kompozit bir malzeme olan beton, yanıcı olmamasına rağmen yangın etkisinde yüksek sıcaklıkların malzeme içindeki yapıyı bozması neticesinde tahrip olup dağılmaktadır. Bu yıkıcı etkiyi azaltmak için birçok deneysel çalışmalarda atık talaş ve lifler kullanılmıştır. Bu çalışmada, metal endüstrisi atıklarından olan alüminyum talaşın beton içerisinde ince agrega ile yer değiştirecek şekilde kullanılması durumunda numunelerin yangın etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu sayede atık bir malzeme olan alüminyum talaşı farklı bir geri dönüşüm yöntemi ile yeniden değerlendirilerek hem oluşabilecek çevresel sorunların önüne geçilecek hem de ekonomiye ve inşaat sektörüne katkı sağlanacaktır.

1.2. Tezin Önemi

Dünya nüfus artışıyla beraber kırdan kentlere göçlerde de artış olmuştur. Dolayısıyla büyük oranlarda toplu yaşam alanları oluşmuştur. Bu artışlara paralel olarak yangın riskinin artması ve bunun bir sonucu olarak maddi ve manevi kayıpları da beraberinde getirmiştir. Yüksek sıcaklığa dayanıklılık bir yapı elemanı için en önemli özelliklerden birisidir.

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton malzeme öncelikli olarak basınç mukavemetinin bir kısmını kaybeder. Basınç mukavemetindeki azalma miktarı, betonda kullanılan bileşenlerin

özelliklerine, ulaşılan maksimum sıcaklık ve soğutma şekilleri gibi parametrelere göre değişiklik gösterdiği, 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda betonun basınç dayanımında belirgin miktarda kayıplar olduğu literatürde belirtilmektedir.

Yapılan bu çalışma ile atık alüminyum talaşı katkılı beton malzemelerin yangına karşı direnci ile ilgili olarak üreticiler - uygulayıcılar açasından temel bir kaynak niteliğinde olacaktır.

1.3. Tezin Kapsamı

Sunulan bu tez çalışmasında; öncelikle beton malzemesi hakkında ve numunelerde kullanılan atık alüminyum talaşı ve özellikleri tanıtılmıştır. Sonrasında farklı oranlarda atık alüminyum talaşı içeren beton numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler 400, 500 ve 600 °C sıcaklıklara 1 saat süreyle maruz bırakılmış ve fırın içerisinde oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında, elde edilen numuneler üzerinde yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası için basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve porozite deneyleri gerçekteştirilmiştir.

2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ

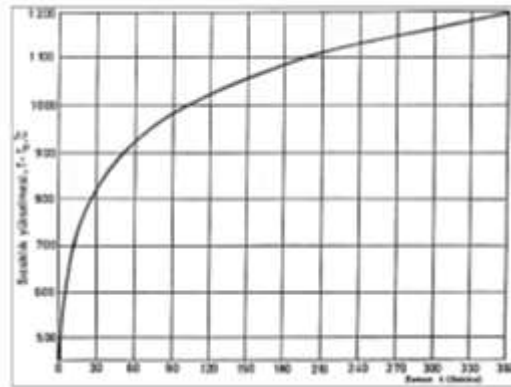
Tez konusunun daha iyi incelenmesi için bazı ön bilgilerin bilinmesi gerekir. Bunlar yüksek sıcaklığa sebep olan kaynaklar, yüksek sıcaklığın betona olan etkileri, yüksek sıcaklıkla ilgili yapılmış olan deneysel çalışmalar ve benzeri bilgilerden oluşmaktadır.

2.1. Yüksek Sıcaklık Kaynakları

Beton malzemenin mekanik ve fiziksel yapısına zarar vererek büyük hasarlara neden olan yüksek sıcaklık kaynakları, en başta yangın olmak üzere özel üretim yapan endüstri fırın bacalarında görülen sıcaklık, hava alanı pistlerinde sürtünme neticesinde oluşan ısınma ve nükleer reaktörler olarak gösterilebilir [4].

Yanma olayı, yanıcı maddelerin ateşle tutuşturulması ile birlikte oksijenle beraber hızlı bir şekilde meydana gelen reaksiyon sonucu, yanıcı madde içinde depolanmış enerjinin, ısı enerjisine dönüşmesi neticesinde oluşan kimyasal bir işlemdir. Kimyasal işlem sırasında açığa çıkan enerji, sıklıkla sıcak gazların oluşumunun yanında, az miktarlarda elektromanyetik yani ışık, serbest iyonlar ve elektronlar (elektrik) ve ses (mekanik) enerjileri olarak da ortaya çıkmaktadır. Yanma olayı, oksijen ve yanıcı maddeler arasında oluşan kimyasal reaksiyondaki oksijen miktarına reaksiyon hızına ve yanma bölgesinde oluşan sıcaklığa bağlıdır [5].

Yüksek sıcaklık sonrasında oluşan yangın, katı maddelerin yanı sıra sıvı, gaz halindeki maddelerin yanması olayıdır. Araştırmalara göre bir yangın olayının genel olarak 4 ayrı fazdan oluştuğunu göstermektedir. Bunlar ateşleme, yavaş yanma, ısınma ve soğuma şeklindedir. Tüm parlama öncesi ateşleme ve yanma fazları yani gelişmekte olan yangın, tüm parlama sonrası ise ısınma ve soğuma fazları ise gelişmiş olan yangın olarak adlandırılmaktadır [4]. Şekil 2.1'de, standart sıcaklık-zaman eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Standart sıcaklık-zaman eğrisi [6].

Yangın eğrisi ISO-834'e göre tanımlanan bu eğri Denklem 2.1 bağıntısı ile gösterilmektedir [6].

$$T - T_0 = 345 \log(8t + 1) \quad (2.1)$$

Bu denklemde,

T : Yangın esnasında erişilen ortalama yangın gazı sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$),

T_0 : Başlangıç sıcaklığını (20°C),

t : Yangın süresini (dakika) göstermektedir [7].

Deney çalışmaları için kullanılan yüksek sıcaklık fırınının ısınma hızı, ifade edilen bağıntıya uygun olmalıdır [6].

2.1.1. Endüstri fırın bacaları

Endüstri fırın bacalarında sıcaklık, $1250-1300^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek sıcaklığa ulaşmaktadır. Ancak günümüzde bacalardaki artık ısı enerjisinin geri kazanımı için ısı eşanjörleri, ısı reküperatörleri, döner tip ısıtıcılar, ısı boruları ve ısı pompaları gibi araçların kullanılması ile sıcaklık yaklaşık 200°C 'ye kadar düşmektedir [8].

2.1.2. Hava alanı pistleri

Havaalanlarındaki sıcaklık artışına en çok, uçakların kalkış-inişlerinde oluşan sürtünmeler ve jet motorlarından 260 km/saat hızla çıkan 196°C sıcaklıktaki egzoz gazları sebep olmaktadır. Kalkış-inişlerdeki tekrarlı ısınma ve soğuma etkisi ile pistlerde hem aşınma hem de tozlanma görülmektedir. Pistler bu durumda yük alma kapasitelerini muhafaza etseler de hava alanının işlevleri kısıtlanır [9].

2.2. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkileri

Betonu oluşturan çimento hamur fazı ve agrega türü, yüksek sıcaklıklardan etkilenen en önemli ölçütlerdendir. Çimento hamuru yapısı jel kıvamındadır. Bu jel yapıyı oluşturan (C-S-H) kalsiyum silikat hidratı katı elemanları adsorpsiyon suyu aracılığıyla birbirlerine van der waals bağı (zayıf etkileşimli) ile bağlılardır. Zayıf etkileşimli bu bağlanma yapısı nedeniyle jel adsorbe suyu ve C-S-H' lar yapısında bulunan hidrat suları kolaylıkla buharlaşmamaktadır. Bunun aksine daha geniş olan kılcal boşluklarda bulunan serbest su yaklaşık olarak 100°C 'de buharlaşma gerçekleşmektedir. Yangın olayının birinci basamağında buharlaşan serbest su, betonda büzüşmelere sebep olur. Serbest su miktarı, gerek çimentonun türüne gerekse de üretimdeki su/çimento oranına göre, beton hacminde yaklaşık olarak % 4 oranında bulunmaktadır. Bu

yüzdedeki bir su kaybının meydana getireceği rötre ve beton içinde oluşan buhar basıncı, donatıdaki beton örtüsünün çatlaması ve sonrasında örtünün parçalanarak kopması ile sonuçlanır. Böylelikle donatıdaki çelik malzeme daha yangının başlangıcında sıcakla direkt temas halinde olur [10-11].

Çimento hamuru yapısında C-S-H haricinde bulunan başkaca önemli bir bileşen ise (kalsiyum hidroksit) Ca(OH)_2 'dir. C-S-H yapısındaki kimyasal bağlı su ve jel suyu 300 °C sıcaklıktan itibaren yok olmaya başlamaktadır. Yüksek sıcaklık değerinin 400 °C ile 500 °C aralığındaki zamanda kalsiyum hidroksit, CaO 'ya (sönmemiş kireç) dönüşmektedir. Bu sıcaklık aralığında oluşan dönüşme olayı sonrası büzülme durumu yaklaşık olarak % 33 olarak meydana gelir. Beton malzemelerin dayanıklılık sıcaklığı yaklaşık olarak 300 °C olarak kabul edilmektedir. Fakat bu sav, serbest su miktarının aşırı olmadığı durumlarda kabul edilir. Üç defadan fazla 300 °C 'lık bu sıcaklık yükselmesi olayının tekrarı sonucunda gerek mikro çatlakların artışı gerekse de elastisite modülünün düşüşü gözlemlenmiştir. 300 °C sıcaklık sonrasındaki sıcaklıklarda C-S-H kristallerinin parçalandığı dolayısıyla betonda geri dönüşü olmayan hasarlar meydana getirmektedir. Diğer yandan kalsiyum hidroksit'in 530 °C sıcaklıktan sonra hacim büzülmesi hasarı ve dekompozisyonu büyük boyutlara ulaşmaktadır. Yangın esnasında sıkılan su, oluşan sönmemiş kireç'in tekrardan kalsiyum hidroksite dönüşmesine sebep olmaktadır. Bu olaydaki hacim artışı ise % 44 seviyesindedir. Yapıda bu yüksek sıcaklık sonrasında boşluklu hacmin artışı sonucunda kalsiyum hidroksitin süzülmesi olur. Bu süzülme, yangın sonrasındaki incelemelerde gözlenen kireç lekeleri şeklinde görülür. Bu durum, 550 °C gibi yüksek bir sıcaklığın aşıldığını kanıtlamaktadır [10-11].

Beton yapısında kullanılan agregaların yangın sürecindeki etkileri, ısınma sürecinde görülmeye başlamaktadır. Agregaların termik genleşme katsayıları, çimento hamuru fazından farklıdır. Dolayısıyla agregalar, bu faz içinde kayma gerilmelerine ve betonda çatlamalara sonucunda betonun sürekliliğini kaybetmelerine neden olurlar. Agregaların en önemli etkisi mineral yapılarından dolayıdır. Kum yapısının büyük miktarını oluşturan kuvarz, sıcaklık 570 °C'ler iken polimorfik bir değişime uğramaktadır, hacim genişlemesinin % 15 seviyesinde olduğu aşamalarda alfa kuvarz'dan beta kuvarz'a dönme olayı meydana gelmiştir. Sonuç olarak bu hacim genişlemesi betonda hasara sebep olmaktadır. Dolomit ve kalkerden oluşan agregalarda ise 800 °C ile 900 °C sıcaklık değerleri civarında, MgO ve CaO'ya dönüşüm meydana gelir. Bazalt benzeri camsı püskürük kayaların agregalarının ayrışması olayı sıcaklığın 1000 °C değerini aştığında görülür. Çeşitli sıcaklık değerlerinde betonda oluşan hasarlar, malzeme mukavemetlerinin büyük oranda azalmasına ve hatta malzemenin yok olmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar, betonun elastisite modülünde yaklaşık olarak düzenli bir düşüşe sebep olurlar. Meydana gelen bu düşme beton yapıdaki malzemenin yumuşamasına, mikro çatlakların ve boşluk oranının artmasına bağlıdır. Su/çimento oranının yüksek değeri ile üretilen

beton malzemenin basınç dayanımlarındaki düşüşün nispeten düşük hızla geliştiği öne sürülmektedir. İddia edilen bu ifadenin gerçekliği tartışmalıdır. Beton malzemenin basınç dayanımlarındaki düşme miktarı, yapı yüklüken ve sıcaklık değeri yüksekken daha düşüktür. Buna karşın betonun basınç dayanımı, malzemenin soğuması sonrasında büyük miktarda düşmektedir ve 600 °C’de basınç dayanımı % 70 oranında azalmaktadır [10-11]

Betonarme yapılarda kullanılan çelik malzemeler de yüksek sıcaklıkta önemli rol oynamaktadırlar. Betonarmedeki çelik türleri; Ç-I (düşük karbonlu), Ç-IIIb (soğukta burulmuş düşük karbonlu) ve Ç-IIIa (orta karbonlu) çelikleridir. Bu çelik türlerinin tümünde sıcaklık değerinin artışıyla birlikte çekme dayanımlarında ve akma dayanımlarında büyük azalışlar görülmektedir. 200 °C sıcaklık değerlerinde görülen çekme dayanımındaki artış, çizgisel kusurların yoğun olduğu tane sınırlarına azot atomlarının yayılması nedeniyle, fakat sıcaklık değerinin 300 °C ‘yi aşmasıyla birlikte bu etki yok olur, sonuç olarak akma sınırlarında ve dayanımlarda düşmeler meydana gelir. Sıcaklığın 600 °C değerine artışında çeliğin çekme dayanımı, güvenlik gerilmesinin altına düşer. Bu sıcaklık ve üstünde çeliğin plastik deformasyonlar yapacağı yani geri dönülmez yapıya dönüşeceği açıkça bilinmektedir [12-13].

2.3. Yüksek Sıcaklıkta Beton Davranışıyla İlgili Bazı Çalışmalar

Keleştemur ve ark., 2013 yılında yaptıkları çalışmada, “ Atık mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını” incelemiştir. Bu çalışmada, değişik miktarlarda cam lif kullanılmış ayrıca mermer tozu filler malzeme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirerek ilave edilmiştir. Elde edilen numunelerin, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldıktan sonra fiziksel ve mekanik davranışları incelenmiştir. Deneyler sonucunda, yüksek sıcaklığa maruz kalan mermer tozu ve cam lifi kullanılmış numunelerde , basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve eğilmede çekme dayanımının azaldığı, porozite değerlerinin arttığı görülmüştür. Mermer tozu kullanımı cam lif katkılı numunelerde yoğun bir yapı oluşmasına sebep olmuştur. Bu durum, harç numunelerinde yüksek sıcaklık sonrası daha az dayanım kaybı meydana gelmiştir [14].

Demirel ve Gönen, 2008 yılında yaptıkları çalışmada, “ Silis dumanı katkılı karbon lif takviyeli hafif betonun mekanik özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisini incelemiştir”. Bu çalışmada, harç numunelerinde kullanılan çimento ağırlığının % 10’u oranında silis dumanı, yine çimento ağırlığının % 0,5 oranında karbon lif ve Elazığ yöresi bazik karakterli pomza agregası kullanılarak hafif beton numuneler hazırlanmıştır. Hem karbon lifli hem de silis dumanlı hafif beton numunelerinin yüksek sıcaklık etkisi sonrasında fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu sebeple, 4 farklı numune hazırlanmıştır (silis dumansız hafif beton, silis dumansız karbon lifli hafif beton, silis dumanlı hafif beton ve silis dumanlı lifli hafif beton).

Hazırlanan numuneler 365 günlük yaşa erişmesi sonrasında 1saat süreyle 250, 500, 750 ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılıp oda sıcaklığında soğuması sonrası basınç dayanımları ve porozite deneyleri yapılmıştır. Buna göre, silis dumanı içeren serilerde basınç dayanımı kayıpları silis dumansız serilere göre daha yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımı ve porozite arasındaki ilişki 500 ve 750 °C dışında yüksektir [15].

Chen ve Liu , 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada, “ yüksek dayanımlı ve lifli betonların yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra geriye kalan mukavemetlerini ” incelemişlerdir. Hazırladıkları numuneleri üçer saat süreyle, 20 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakmışlardır. Sıcaklık etkisi sonrası numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulması için bekletilmiştir. Soğuma sonrasında numunelerin basınç ve çekme dayanımları ölçülmüştür. Yüksek sıcaklık etkisiyle yüksek dayanımlı betonların patlayarak parçalandığı görülmüşken, çelik lif ve karbon katkı kullanımının patlama zamanını geciktirdiği, polipropilen lif katkısının ise bu olayı ortadan kaldırdığı belirtilmiştir. Lif katkılı yüksek dayanımlı beton malzemelerin yüksek sıcaklık sonrasında arta kalan basınç ve çekme dayanımlarının lif katkısız yüksek dayanımlı beton malzemelerden daha fazla dayanım sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak erime noktaları yüksek olan çelik lif ve karbon ile erime noktası düşük olan polipropilen lifleri ile karıştırılarak üretildiği yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklık etkisinden sonra mukavemet değerlerinde belirgin iyileştirici katkı yaptığı vurgulanmıştır [16].

Lau ve Anson , 2006 yılında yaptıkları çalışmalarında, %1 oranında çelik lif katkılı beton numunesi hazırlamışlardır. Hazırlamış oldukları bu numuneleri 105 °C-1200 °C arasında değişen yüksek sıcaklıklara maruz bıraktıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğuması sonrasında arta kalan dayanımları ölçmüşlerdir. Özellikle numunelerin basınç dayanımı, eğilme dayanımları, poroziteleri ve elastisite modüllerini incelemişlerdir. Çalışmada hem 10 cm boyutlu küp hem de 10x20 cm boyutlu silindir numuneler üretmişlerdir. Numuneler üzerinde yapılan ölçümler neticesinde 400 °C sıcaklık öncesindeki sıcaklıklarda basınç dayanım kaybının çok az miktarlarda olduğu görülmüşken, hazırlanmış tüm numune serilerinde 400 °C sıcaklıktan itibaren basınç dayanımlarında büyük oranlarda azalmalar başlamıştır. 600 °C sıcaklıklardan sonra normal beton numunelerdeki basınç dayanım kayıpları yüksek dayanımlı beton numunelere göre daha az mukavemet kaybı göstermiştir. Yine lif kullanılmış beton numunelerde yüksek sıcaklık etkisinde betonda 1200 °C sıcaklığa kadar betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır [17].

Yamazaki ve ark., 1995 yılında yapmış oldukları çalışmada beton ve donatı malzemelerinin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması sonrasındaki etkileri hakkında incelemelerde bulunmuşlardır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklara maruz donatılı kirişlerin yapısal davranışlarını ve yüksek sıcaklık etkisi sonrasında kalın yapılı duvarların ısı transfer özelliklerini de incelenmiştir. Donatılı beton elemanlarının yüksek sıcaklık etkisinde doğrusal olmayan davranışını tahmin etmek için

model oluşturulmak üzere yapılan deneylerde 800 °C sıcaklığa kadar veriler elde edilmiştir. Betonun sıcaklık etkisindeki ve soğutulduktan sonra arta kalan özellikleri belirlemek için deneyler, hem ısıtma süresinde ve hem de numuneler soğutulduktan sonra yapılmıştır. 200 °C'ye kadar betonun ısıl genleşme katsayı değeri küçük değerlerde olmasına karşın, 600 °C sıcaklık civarında ısıl genleşme katsayı değeri çok hızlı bir artış göstermiştir. Bunun temel sebebi beton yapısındaki kullanılmış agrega içeriğindeki kuvarz miktarıdır. Çünkü agrega içerisindeki alfa kuvarzlar 573 °C'de beta kuvarza dönüşürler, bunun neticesinde %15 civarında hacim artışı olur. Sıcaklık artışıyla birlikte beton yapıdaki ısıl iletkenlik katsayısı değerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Beton basınç dayanımında ise 200 °C sıcaklık civarında bir artış olmuş, daha sonraki sıcaklıklarda dayanımlarda hızlı azalmalar gözlemlenmiştir. 700 °C sıcaklıklarda yapıdaki C-S-H bozulması sonucunda çok fazla miktarlarda kayıplar olmuş, dayanım değeri başlangıç değerinin %20'si olarak ölçülmüştür. Donatıda bulunan çelik çubukların ısıl genleşme katsayıları sıcaklığın 400 °C kadar artmasıyla bu katsayılarla artış olmuş, ısıl genleşme katsayısı 400 °C-700 °C sıcaklık aralığında sabit kalmış, daha sonra ise azalmıştır. Sıcaklık 800 °C civarında ise ısıl genleşme katsayısı yaklaşık olarak sıfır değerine kadar düşmüştür. Yine akma dayanımlarında 300 °C sıcaklığa kadar az miktarlarda değişimler belirlenmişken daha sonra sıcaklık değerinin artmasıyla akma dayanımları lineer bir biçimde azalmıştır [18].

Morley ve Royles, 1980'de yüksek sıcaklıkların etkisi sonrasında beton malzemesi ve donatıdaki çelik dayanımıyla ilgili çalışmalar yaparak konuyu özetlemişlerdir. Sonrasında ise ortam sıcaklığında beton yapısındaki bağ kuvvetinin belirlenmesi için kullanılan metotları sıralanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda bağ kuvveti ile ilgili birçok çalışmaları değerlendirilip uygulanabilirlikleriyle ilgili önerilerde bulunmuşlardır [19].

Poon ve ark., 2004'te yüksek sıcaklık etkisindeki çelik lif, polipropilen lif ve hibrit (çelik lif +polipropilen lif) katkılı beton numunelerde basınç dayanımı, gerilme-şekil değiştirme ve enerji tüketim özelliklerini belirlemek için deneyler yapmışlardır. Lifler betona; % 1 çelik lif, % 0,11 polipropilen lif, % 0,22 polipropilen lif ve % 1 çelik lif + % 0,22 polipropilen lif ile birlikte katılarak 28 günlük silindirik numuneler üretilmiştir. Deneyler sonucunda 600 ile 800 °C sıcaklıklar arasında basınç dayanımında %45 civarında bir azalma gösterirken, enerji tüketim kapasitesinde bu azalış basınç dayanımına göre daha az olmuştur [20].

Peng ve ark., Yüksek sıcaklıklara maruz kalan yüksek performanslı lifli betonların mekanik özellikleri ile ilgili bir çalışmada, basınç dayanımı, yarıma dayanımı ve kırılma enerjisi ölçülmüştür. Beton numunelerde, normal portland çimentosu ve parçalanmış kireçtaşı kullanılmıştır. Betonun kırılma enerjisini artırmak için çelik lif, polipropilen lif ve hibrit lif (polipropilen lif +çelik lif) kullanılmıştır. 200–800 °C arası farklı sıcaklıklar uygulandıktan sonrası lifli beton numunelerde 400 °C üzeri sıcaklıklarda dayanım azalmasına rağmen, kırılma

enerjisi sıcaklık öncesine göre belirgin bir şekilde artmıştır. Hibrit fiber ise betonun parçalanmasına karşı dayanımını arttırdığı belirtilmiştir [21].

Yüksek sıcaklık etkisi sonrasında beton numunelerde meydana gelen mukavemet değişimleriyle ilgili olarak önceki senelerde yapılmış çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, beton malzemelerin yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakılması sonrasında arta kalan fiziksel ve mekanik özelliklerinde çok önemli değişiklikler olduğu belirlenmiştir. Yanmaz bir malzeme sınıfında yer alan beton, yangına karşı diğer birçok yapı malzemesine oranla daha fazla dayanıklıdır. Fakat yüksek sıcaklık sonrasında beton malzemenin basınç dayanımında, çekme dayanımında ve eğilme gibi mukavemetlerinde azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Ancak bazı kaynaklarda beton malzemenin 200 °C sıcaklıklara kadar özelliklerinde belirgin bir bozulma olmayabileceği hatta belirli bir miktar dayanım artışının olabileceği belirtilmiştir. Bu dayanım artışının sebebinin sıcaklığın etkisiyle ortaya çıkan enerjinin hidrate olmamış çimento tanelerinin hidratasyonunu tamamlamasına neden olması ile açıklanabilir. Yüksek sıcaklık etkisi sonrasında betonda meydana gelen dayanım kayıpları ise betonda oluşan mikro ve makro miktarlardaki çatlaklar, agregada yapısındaki hacimsel genleşme ve çimento hamurunda C-S-H bağlarının bozulması gibi birkaç değişik sebepler açıklanabilir. Yüksek dayanımlı betonlar yüksek sıcaklığın etkisiyle daha farklı davranış gösterirken, bu betonlarda meydana gelen en önemli sorun, beton yapının patlayarak parçalanması olayı olarak gösterilmiştir. Teknik literatürlerde ortaya çıkan bu sorunun betona lif katkısının kullanımıyla etkili bir çözüme ulaşılabilceği görülmüştür. Ayrıca normal betonların diğer betonlara kıyasla yangına dayanıklılığın daha iyi sonuçlar sergilediği de gözlemlenmiştir. Betonda yüksek sıcaklığın etkilerinin dışında, yüksek sıcaklık sonrası soğutma yönteminin de beton özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin suda soğutulması sonrasında, numunelerin iç sıcaklığındaki ani sıcaklık değişiminden dolayı artan termal şokun numune yapısında daha fazla hasara sebep olduğu belirtilmiştir.

Sonuç olarak yüksek sıcaklık sonrasında beton davranışının belirlenmesinde hem numunelerin özellikleri hem de deney şartlarının önemli ölçütler olduğu, bu sebepten dolayı elde edilen sonuçlar arasında değişiklikler olabileceği unutulmamalıdır. Bu yüzden yapılan çalışmalar sonrasında elde edilmiş sonuçlar sadece kullanılan malzemeler ve deneyin yapılmış olduğu şartları için geçerlidir.

3. BETON

Genel tanımında beton, uygun oranlarda çimento, agrega ve su karışımında elde edilen bir yapı malzemesidir. Üretilmesi istenilen betona ihtiyaç duyulması durumunda katkı malzemeleri de uygun oranlarda karıştırılmaktadır. Beton başlangıçta plastik bir kıvamda olup daha sonra çimentonun hidrasyonu sonucu sertleşen yapı malzemesidir. Bu tanımlamalara göre, agrega dolgu malzemesi olarak, çimento harcı ve su ise agregalar arasındaki boşlukları dolduran, agrega üzerini bir zarf gibi saran ve agrega taneciklerini birbirine bağlayarak bir kütle meydana gelmesini sağlayan bağlayıcı özelliği olan bir malzemedir. Çimento agrega ve su belirli miktarlarda karıştırıldığında kalıplar içerisinde istenilen biçimi alabilecek plastik bir yapı malzemesi elde edilebilir. Betonun plastik bir kıvama sahip oluşu dolayısıyla istenilen şekli alabilme özelliği onu diğer birçok yapı malzemesinden üstün kılmaktadır [22].

Beton malzemesi karıştırılıp kalıba döküldükten kısa süre sonra katılaşı ve zaman geçtikçe dayanım kazanır. Heterojen bir yapıya sahip olan beton, boşluklu bir yapı malzemesidir. Betonunun işlenebilir olması için gereğinden fazla su katılması ve kılcal boşluk yapısından dolayı, zayıf yapıya sahip olmaktadır. Su / Çimento (S / Ç) oranının azaltılmasıyla betonun basınç mukavemetinde artış olacağı 1800 yılların sonlarından beri bilinmektedir [22].

Çimento hamurunun kalitesi ve S/Ç oranı, betonda istenilen dayanımların elde edilebilmesi için önemli iki parametredir. İstenilen bu dayanımı en ekonomik olarak elde etmek için fazla agrega kullanmak çimento hamurunu azaltmaya tercih edilmekle mümkün olmaktadır. Eğer çimento hamuru arttırılırsa bu kez üretilen betonda akışkanlık elde edilir. Çimento hamurunun beton malzemedeki asıl görevi, agreganın boşluklarını doldurmak ve aynı zamanda tanelerin etrafını ince bir tabaka halinde sararak homojen bir yapı meydana getirmektir. Bu sebepten çimento hamuru miktarını, agrega boşluk miktarı ve agrega yüzeyleri etkiler. Bu ölçütlerden sadece birini önemseyip diğerini yok saymak doğru sonuçların ortaya çıkmasını engeller [23].

3.1. Betonun Kalitesi

Betonun dayanımını etkileyen bazı parametreler Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Bunlar dikkate alınarak beton kalitesini artırıcı önlemler aşağıda verilmiştir [10].

Tablo 3.1. Betonun dayanımını etkileyen parametreler [10].

Agrega	Çimento	Su	Çevre Şartları	Betonun Kompasitesi	Üretim, Döküm, Bakım Şartları
Tane Dağılımı (Granülometrisi)	İncelik (90 -6.5 μ)	Su / çimento oranı	Karbonatlaşma	İyi yerleştirme (vibrasyon)	Karışım malzemelerin ölçümü
Yüzey Pürüzlülüğü	Depolama şartları (nemlenmemeli)	Suyun kalitesi ve uygunluğu	Tuz etkisi (deniz suyu ve deniz kumu)	Agrega şekli,su miktarı ve kil oranı	Betoniyerde karıştırma taşıma
Tane Şekli (Kübik)	Ç. Türü (Beyaz portland çimento, harç çimentosu,kalsiyum aluminatlı çimento,)		Sülfat etkisi	Akışkanlaştırıcı ve geçimsizlik katkı ilavesi	Kalıba yerleştirme ve sıkılama
Taş yapısı (mineralojik ve petrografik yapı)	Normal dayanımı (kalitesi), (PÇ 32.5 – PÇ 42.5)		Doğal afetler (yangın etkisi, deprem vs.)		Bakım ve koruma (su veya buhar kürü)
Yabancı ve ince madde içeriği (temizliği)	Dozaj				
	Mineraller				

a) Agreganın özellikleri

Agreganın kalitesi, beton dayanımına etki eden parametrelerden biridir. Beton agregalarının kalitesini; tanelerin geometrisi, tane yüzey durumu, tane boyutu, tanelerin dağılımı ve fiziksel özellikleri belirlemektedir. Beton malzemede çimento hamuruyla agregalar arasındaki bağ kuvvetinin yüksek olması betonun dayanımını arttırmaktadır. Yine betonun dayanımını agrega yüzeylerinin pürüzsüzlüğü de arttırmaktadır. Agreganın geometrik şekli olarak küp yada küre şeklinde olması beton için istenilen en uygun agreganın şeklidir. Agregaların yassı ve uzun olması, betonun kompasitesini azaltırken mukavemetinin de düşmesine sebep olmaktadır [22].

Beton karışım özellikleri ve başkaca özellikler, betonun işlenebilirlik yapısını etkileyen değişkenlerdir. Taze betonun kıvamını sadece ilave edilen su miktarı değil aynı zamanda istenilen bir kıvamın elde edilmesi için su ihtiyacını belirleyen agreganın tane şekli ve agreganın granülometrisi de belirlemektedir. Beton üretimi için kullanılan agregalar, hem betonda oluşabilecek aşınmalara karşı dayanıklı olmalıdır hem de yüksek kaliteli beton üretiminde kullanılacak özellikte dayanıklı olmalıdırlar. Yine agreganın dayanım miktarı çimento hamurunun dayanımından az olmamalıdır. Eğer çimento hamurunun dayanımını agreganın dayanımından fazla olursa üretilen betonun gücü çimento hamurunun dayanımına ulaşmadan agreganın kırılmasıyla sonlanacaktır. Bu durumda betonun gücü, çimentonun artırılmasıyla veya karışım oranlarını değiştirilerek arttırmak mümkün olmayacaktır. Hem uygun kıvamda hem de yüksek kalitede beton üretilmesi için, betonda kullanılan agregaların çeşitli tane çaplarında karışım içinde bulunması gereklidir. Başka bir deyişle, agreganın granülometrisi bileşimleri belli sınırlar içinde olmalıdır [24].

b) Çimento

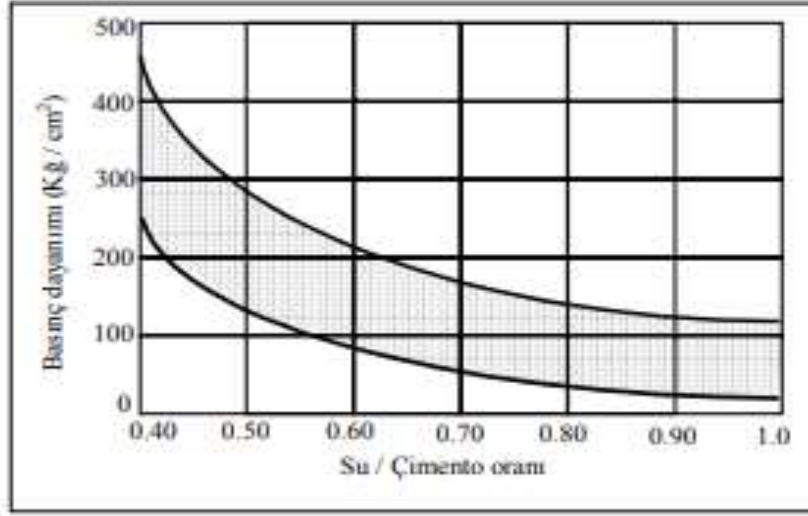
Çimento, üretim yöntemine ve kullanılan hammaddelerin miktarına göre çeşitli türleri bulunmaktadır. Ülkemizde standartlara uygun olarak yapılan sınıflandırma şöyledir;

- Portland çimentoları
- Yüksek fırın cürüflu çimentolar
- Beyaz Portland çimentosu Harç çimentosu
- Traslı çimento
- Uçucu küllü çimento
- Süper sülfat çimentosu
- Erken dayanımı yüksek çimento
- Katkılı çimento

Yukarıda belirtilen çimento çeşitlerinde en çok üretilen ve kullanılan çimento çeşidi olan portland çimentodur. Portland çimentoları klinkerle yaklaşık % 5 oranında alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen katkısız çimentolardır. Portland çimentolar 28 günlük basınç dayanımlarına göre başlıca üç tiptir. Bunlar; PÇ 32.5, PÇ 42.5 ve PÇ 52.5'tir. Cürüflu çimentolar granüle yüksek fırın cürufunun Portland çimentosu klinkeri, alçı taşı ile birlikte granüle yüksek fırın cürufunun ayrı ayrı öğütülüp karıştırılmasıyla elde edilen çimento türü ise yüksek cürüflu çimentolardır. Yine en az %40 portland çimentosu klinkeri ile çözünmeyen kalıntı miktarı en çok %50 olacak şekilde doğal puzolanlar ve uçucu kül gibi çeşitli maddelerin bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucu ile elde edilen çimento çeşidi harç çimentoları olarak sınıflandırılır [25].

c) Su

Agrega ve çimento cinsi, beton kıvamında ve mukavemetinde etkili olan iki unsurdur. Betonarme yapıyı korozyondan ve geçirimsizlikten korumak maksadıyla çimento dozajı çok iyi ayarlanmalıdır. Bu dozaj istenilen orandan az olmamalıdır. Ancak bilinen bir gerçeklikte vardır ki, beton dayanımını dozaj değil S/Ç oranı belirlemektedir. Yapılan farklı deneylerde değişik sonuçlar görüldüğünden basınç dayanımı ile S/Ç oranı arasındaki ilişki tek bir eğri yerine bir bant kuşağı olarak Şekil 3.1 'de gösterilmiştir [26].



Şekil 3.1. Basınç dayanımı ve S/Ç oranı arasındaki ilişkisi [26].

d) Beton Katkı Maddeleri

Beton üretiminde çimento, agrega ve su haricinde beton malzemenin bazı özelliklerini iyileştirme amacıyla çeşitli endüstriyel lifler kullanılmaktadır. En çok kullanılan lif çeşitleri çelik lifler, cam lifleri, karbon lifleri, polipropilen v.b atık lif çeşitleri kullanılmaktadır.

Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinin homojen olarak dağılması ve kompozit içerisinde bozulmaması istenir. Bunun sebebi liflerin, beton malzemesi içerisinde oluşan çatlakları önlemesi ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmesi istenmektedir. Lifli betonun bu özelliği sebebiyle çekme ve eğilme dayanımlarını artıran faktörler darbe etkisine karşı da dayanımını artırır. Bu nedenle beton yapılarda, yol, su boruları ve genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ayrıca prefabrike yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir [27].

3.2. Betonun Termik Özellikleri

Betonarme yapıların genel durumlarının dışında bazı özel yapılarda da kullanıldığı bilinmektedir. Özel yapılar normal sıcaklığının çok üstündeki ortamlarda bulunan beton yapılardır. Bu yüksek sıcaklığın olduğu bir yapıya örnek verecek olursak, betonarmeden yapılmış bir fabrika bacası gösterilebilir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan fabrika bacasında beton yapı 400 °C dolayında yüksek bir sıcaklıkla karşı karşıyadır. Bazı bölgelerde mevsimsel sıcaklık farklılıklarının yüksek olması durumu hiperstatik yapılar diye adlandırılan yapılar üzerinde oluşturduğu etkileri de göz önünde tutmak gerekir. Yine betonarme yapılar yangına dayanıklı olmalarına rağmen yangın esnasında oluşuna 600 °C-1000 °C gibi sıcaklığın etkisine maruz

kalmaktadır. Bahsedilen bu ve benzeri durumlarda karşılaşılan sorunların ve bu sorunlara karşı oluşturulabilecek çözümlerin üretilmesi açısından betonun termik özelliklerinin yeterince bilinmesinde fayda olacaktır. Betona ait olan termik özellikler;

a) Özgül Isı (c)

Beton malzemenin özgül ısı, 0,20 – 0,28 kcal/kg°C arasındadır. Özgül ısı, bir maddenin sıcaklığını arttırmak amacıyla tüketilmesi gereken ısı miktarı olarak tanımlanır. Beton üretiminde kullanılan su miktarının artması özgül ısının artışına neden olmaktadır. Yine betonun birimce ağırlık azalışında beton özgül ısı artış göstermektedir. Buna karşın betonda kullanılan agreganın mineralojik kökeniyle pek bir ilgisi yoktur [28-30].

b) Isı iletim Katsayısı (k)

Isı iletim katsayısı, kalınlığı 1 m olan bir cismin her iki tarafında ölçülen sıcaklık değişimi 1 °C iken bu cismin 1 m² "lık alanından 1saat sürede geçen ısı miktarı olarak tanımlanırsa; bu tanımlamaya ısı iletim katsayısı denir ve birimi kcal/mh°C'dir. Isı iletim katsayısı ne kadar büyük değerde olursa ısı kaybı miktarı da o kadar fazla olacaktır. Bu sebepten kapalı bir hacim içindeki sıcaklığın sabit kalması isteniyorsa bunu sağlamak için daha fazla yakıt tüketmek gerekmektedir. Bir cismin ısı iletim katsayı değerini cismin içerisindeki su içeriği ve boşluk yapısı, onu etkileyen en önemli iki faktördür. Isı iletim katsayısının cismin boşluklarında düşük olmasının sebebi havanın ısıyı iyi iletmemesinden dolayıdır. Bir cismin birim ağırlık miktarı ile o cismin boşluk yapısı arasındaki bağlantı düşünüldüğünde şöyle bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Bir cismin birim ağırlık miktarı ne kadar büyük ise aynı cismin ısı iletim katsayısı değeri de o kadar yüksektir. Cismin ısı iletim katsayısını boşluklardaki hava miktarı düşürürken cismin içeriğinde bulunan su ve rutubet miktarı arttıkça ısı iletim katsayısını yükselmektedir. Beton için bu durum göz önüne alındığında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Birim ağırlık arttıkça betonda ısı iletim katsayısı da yükselmektedir. Birim ağırlık değerlerine göre ısı iletim katsayısı arasında bir karşılaştırma yapılacak olursa, rutubet içeriği en düşük olan ve birim ağırlığı 2400 kg/m³ betonun ısı iletimi 1,8-1,4 kcal/mh°C değerine sahipken, birim ağırlığı 2000 kg/m³ olan betonun ısı iletim katsayısı 0,75 kcal/mh°C değeri civarına kadar düşme olduğu görülür. Yani hafif betonlarda ısı iletim katsayısı değeri oldukça küçüktür. Hafif betonlardan birim ağırlığı 600 – 1600 kg/m³ arasında olanlarda ısı iletim katsayısı değeri 0,25 – 0,54 kcal/mh°C aralığında olmaktadır. Bu özellikten dolayı ısı yalıtım işlerinde hafif betonlar oldukça fazla kullanım alanlarına sahiptirler [28-30].

c) Termik Genleşme Katsayısı

Bir cisim içerisinde bulunan atomların cismin ısıtılmasıyla titreşimleri artmaktadır. Bu artış sonucunda cismin boyutlarında da artış meydana gelmektedir. Sıcaklığın 1°C değerindeki artışı

sonucu cismin birim boyutunda yapmış olduğu artış o cisme ait doğrusal termik genleşme katsayısı olarak nitelendirilir. Termik genleşme katsayısı denklem 3.1’de gösterilmiştir. Burada ΔL uzaması; cismin sıcaklığın θ_1 değerinden θ_2 değerine çıkması durumundaki uzama miktarıdır. Burada α_1 ; genleşme katsayısı ve L_1 ise ilk sıcaklıktaki cismin uzunluğudur.

$$\Delta L = L_1 \cdot \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1) \quad (3.1)$$

Katı cisimlerde genleşme katsayısı değeri çok küçüktür. Buna rağmen ısı miktarındaki değişiklikler sonrasında ortaya çıkan boyut uzamaları ve genleşmelerin serbest olarak meydana gelmemesi sonucunda katı cisimde bazı gerilmelere neden olurlar. Bu gerilmelerin büyük değerler alması için ısı miktarındaki değişikliklerin de büyük ölçüde olması gerekir ki bunun neticesinde yapılarda birtakım hasarlar meydana getirir. Bu hasarlar, çatlakların oluşmasıyla cismin mukavemet azalması, yine yapının etkisinde var olan yüklerin sonucunda olan gerilmelere, termik gerilmelerin de dahil edilmesiyle toplam gerilmenin daha yüksek değerler almasına ve bütün bunların sonucunda yapının emniyet durumunun azalmasına sebep olurlar [28-30].

3.3. Beton Kalitesini Belirlemede Kullanılan Bazı Yöntemler

Beton kalitesini belirlemede kullanılan yöntemlerin başında beton basınç dayanımı, betonun çekme dayanımı, betonun ultra ses geçiş hızı ve betonun porozitesi gelmektedir.

3.3.1. Betonun Basınç Dayanımı

Beton malzemenin eksen yönünde maruz kaldığı basınç yüklerine karşı göstermiş olduğu dirence, betonun basınç dayanımı olarak tanımlanır. Yani eksen yönünde basınç yüküne maruz bırakılan beton yapıda oluşan en yüksek gerilme olarak tanımlanır [1]. Bir başka tanımla betonda oluşan yük miktarının sebep olabileceği kırılmalara ve şeklen farklılaşmaya karşı gösterdiği mukavemete denilmektedir [31]. Betonarme bir yapı elemanı, yüklere maruz kaldığında, basınç, çekme, kesme v.b. yük çeşitlerine dayanım göstermeleri gerekmektedir. Ancak bu belirtilen özelliklerin birbirinden bağımsız olmadıkları bilinmelidir [32].

Beton malzemenin basınca karşı dayanımı, betonun mekanik dayanımları içerisinde en büyük değere ve en önemli yere sahip olanıdır. Bundan dolayı beton, basınç dayanımı etkisinde bırakılarak yapılarda kullanılmaktadır [32].

Beton basınç dayanımının araştırmacılar tarafından bu kadar çok kullanılmasının ve önemli olmasının nedenleri şöyle sıralanabilir [1,33];

- Basınç dayanımının tespitinde kullanılan deney metotları diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan metotlardan daha basit oluşu,

- Basınç dayanımıyla ilgili değerlerin biliniyor olması betondaki diğer bazı özelliklerle ilgili bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır. Örneğin; basınç dayanımının düşük olması, betondaki su geçirimsizliğinin fazla olduğunu ve dayanıklılığın düşük olacağını habercisidir.
- Betonun basınç dayanımı, diğer dayanım türlerinin büyüklükleri hakkında bir fikir vermektedir. Çünkü beton basınç dayanımıyla aynı betondaki çekme dayanımı, eğilme dayanımı arasında kısmen de olsa bir korelasyon bulunmaktadır.
- Yapılan tüm tasarımlarda betonu basınç dayanım değerleri esas alınırken, betonun çekme, eğilme, yorulma gibi bazı farklı yüklerin etkisinde kalmayacağı varsayılmaktadır. Dolayısıyla betonun maruz kaldığı yüklere karşı basınç dayanımında elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yapılmaktadır.
- Betonlar projelendirmede belirli sınıflara ayrılmaktadır. Beton sınıflandırılması yapılırken en önemli özellik beton basınç dayanımıdır. Beton basınç dayanımı, diğer bütün özellikler için başlıca bir ölçüt sayılmaktadır [34].
Basınç dayanımını etkileyen bazı etkenler bulunmaktadır. Bunları [34];
- Su/Çimento oranı
- Dış koşullar (kür koşulları)
- Çimentoyla ilgili etkenler
- Yoğurma suyu ili ilgili etkenler
- Betonun kompasitesi

Beton dayanımını etkileyen doğadaki bazı etkenler de bulunmaktadır. Dayanma kabiliyeti yüksek beton malzeme, maruz kalacağı hava şartlarına, ıslanma-kurumaya, kimyasal faktörlere, yangına ve aşınmalara karşı istenen yeterlilikte dayanıklılık gösterebilen betondur. Beton malzemenin bu özelliklere dayanıklılık göstermesi için birçok faktörü sağlaması gerekmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilir; agreganın sağlam oluşu, gözenekli yapı, su geçirimsizlik, mineral yapısı, tanelerin geometrik şekli, en büyük tane boyutu, granülometrisi, yüzey yapı pürüzlülüğü, elastisite modülü, termik genleşme katsayısı, agrega yapısında kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi faktörler gerekmektedir [35].

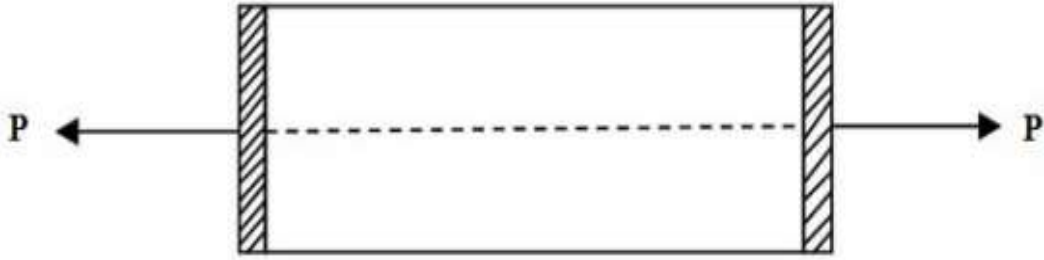
3.3.2. Betonun Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, beton malzemenin maruz kaldığı çekme etkisi oluşturacak yüklerin sebep olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı beton malzemenin gösterebileceği dayanma gücüdür. Genel itibarıyla beton öğeleri üzerine gelen eğilme ile basınç yükleri betonun içerisinde dolaylı da olsa çekme kuvvetlerinin olmasına sebep olurlar. Betonun çekme dayanımı,

betonun hem kalitesi hem de yaşı dikkate alınınca basınç dayanımının yaklaşık olarak %7-17'si civarındadır [1].

Beton çekme dayanımı her ne kadar yapıların tasarımı sırasında ihmal edilmiş olsa da, ön gerilmeli elemanların çatlama momentlerinin hesaplanması için yine erken yaş termal gerilmeleri sonucu oluşan çatlakların belirlenmesinde ve sehim hesaplanmasında kullanılan bir ölçüttür. Yine donatısız beton tasarımında betonun çekme dayanımı kullanılmaktadır. Betonun çekme dayanımı üç farklı deney yöntemleri bulunmaktadır [36,37].

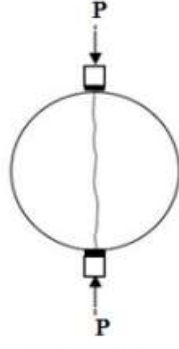
a) Doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi: Eksenel çekme kuvvetleriyle betonun çekme dayanımını bulmak için herhangi bir standart deney yöntemi yoktur. Bu sebeple farklı numune boyutları ve deney düzeneğiyle doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi uygulanmaktadır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi genellikle prizmatik yapıdaki numunelerin başlık bölgelerine çelik levhalar yapıştırılıp bu levhaların ağırlık merkezinde P yükü uygulanmaktadır. Bu kısımda uygulanan yükün yüzey alanına bölünmesiyle çekme dayanımı bulunmaktadı [1].



Şekil 3.2. Doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi [1]

b) Yarmada çekme dayanımı deney yöntemi: Yarmada çekme dayanımı deney yöntemi, TS 12390-6'ya [38] göre küp ve silindir numunelerde uygulanabilecek dolaylı bir çekme dayanımı deney yöntemidir. Diğer deneylerle kıyaslandığında daha basittir. Ayrıca elde edilen sonuçları bakımından daha benzer olan bu yöntemde, Şekil 3.3'de görüldüğü üzere testler için kullanılan basınç levhaları arasına silindir numuneler yatay olarak yerleştirilip basınç uygulanarak dikey yönde yarılmaktadır. Şekil 3.4'te ise küp şeklindeki numuneler iki yüzünden şerit şeklinde basınç levhaları arasına kontra plak gibi malzeme ile konur ve çizgisel yük uygulanarak yarıılır. Ayrıca bu deney yöntemindeki çekme dayanımı direkt çekme dayanımından %5-12 daha fazladır. Küp numunelere ait çekme dayanımı Denklem 3.2'de, silindirik numunelere ait çekme dayanımları Denklem 3.3'te gösterilmiştir [37-39].

Silindir numunede;



Şekil 3.3. Silindir numune üzerindeki yarmada çekme deneyi [37]

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.2)$$

Burada;

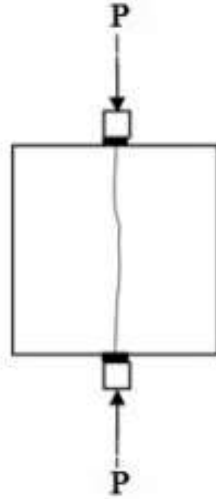
f_{ct} : Çekme dayanımı,

P : Uygulanan yük,

L : Silindirin numunenin boyu,

D : Silindir numunenin çapıdır.

• Küp numunede;



Şekil 3.4. Küp numune üzerinde yarmada çekme deneyi [37]

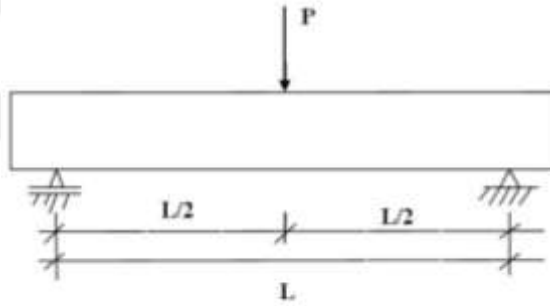
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi a^2} \quad (3.3)$$

Burada;

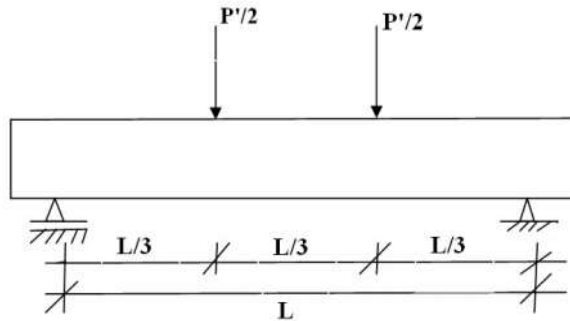
a : Küpün bir kenarının uzunluğu,

P : Uygulanan yüküdür.

c) Eğilmede çekme dayanımı deney yöntemi: Farklı yöntemlerle elde edilen çekme dayanımlarıyla kıyaslandığında, en büyük çekme dayanımı eğilmede çekme dayanımı deney yönteminden elde edilmektedir. Eğilmede çekme dayanımı da yarmada çekme dayanımında olduğu gibi dolaylı bir çekme dayanımı deney yöntemidir. Şekil 3.5'te yükün uygulanış biçimine göre, üç noktalı ve Şekil 3.6'da dört noktalı eğilme deneyi olarak iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu deneylerde beton kirişte bulunan kırılmaya, betonun oldukça düşük çekme dayanımına sahip olması nedeniyle tarafsız eksen altında oluşan çekme gerilmeleri sebep olur. Bundan dolayı beton kirişlerde eğilme dayanımı, başka bir anlamda betonun çekme dayanımını işaret etmektedir [1-40].



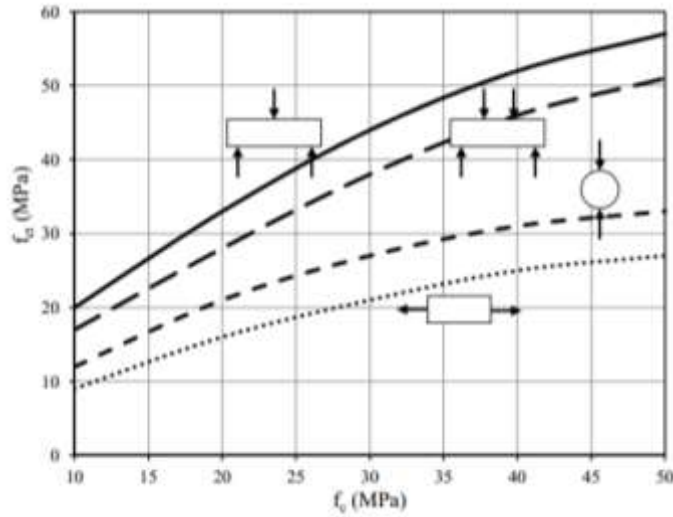
Şekil 3.5. Üç nokta eğilme deneyi [40]



Şekil 3.6. Dört nokta eğilme deneyi [40]

Deneylerde beton numuneler en zayıf oldukları yerlerden kırılmaktadır. Genellikle deney uygulanan bu beton numuneleri ebat olarak ne kadar büyük ise numunedeki belli bir düzlemde o denli boşluk yapılar meydana gelir. Bu nedenle yapının boyutu önemlidir. Ayrıca Kassas ve Erdoğan tarafından yapılmış olan araştırmalar neticesinde çıkan sonuçlarda, yarmada çekme dayanımı değerleri doğrudan çekme dayanımları değerlerine göre %23-%29 daha yüksek sonuçlar verirken, dört nokta eğilme deneyinde bulunan dayanım değerleri ise doğrudan çekme dayanım değerlerinden %45-%97 daha büyük olduğu gözlemlenmiştir [41].

Aşağıda Şekil 3.7’de beton malzemenin basınç-çekme arasındaki mukavemet ilişkisi birlikte gösterilmektedir [42].



Şekil 3.7. Betonun basınç - çekme mukavemetleri arasındaki ilişki [42]

3.3.3. Betonun Ultrases Geçiş Hızı

Beton numunesinden geçen ultrases dalgalarının geçme hızını ölçmede kullanılan yöntem ultrases hız yöntemi denir. Öncelikle ultrases hızının mesafede aldığı süre ölçülür. Sonrasında ise elektronik algılayıcılar arasındaki uzaklıklar belirlenerek, ulaşma süresine bölündüğünde ultrases dalgalarının ortalama hızı belirlenir. Ölçülen bu hız değerleri beton malzemenin birçok özelliğinin bilinmesinde yardımcı olur. Bu yöntem, gerek betonarme binalarında gerekse deneysel numunelerde kolayca uygulanabilir. Betonun büyüklüğü ve şekli elde edilen sonuçları etkilememektedir. Fakat çok küçük numunelerin deneye tabi tutulmasında dikkatli olunmalıdır. Ultrases hızı yöntemi, beton malzemenin dayanımını, elastik modülünü, homojenliğini, döküm özelliklerini ve çatlakları belirlenmede kullanılabilir. Ancak çatlaklar tamamıyla suyla dolmuş ise çatlakların yerlerinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır. Genel olarak 4,570 km/sn gibi çok yüksek hızların çok kaliteli betonun göstergesi ve 3,050 km/sn gibi çok düşük hızlar betonun

kalitesindeki düşüklüğü belirtmektedir. Ultrases hızındaki sistematik ve periyodik değişimler, beton malzemenin kalitesinde değişimler olduğunu göstermektedir. Bu sebepten dolayı araştırmacılar, hız ölçümü sonuçlarından betonun dayanımını veya diğer özelliklerini belirlemeden önce çalıştığı beton hakkında gerekli ve yeterli bilgiye sahip olmalıdırlar [43].

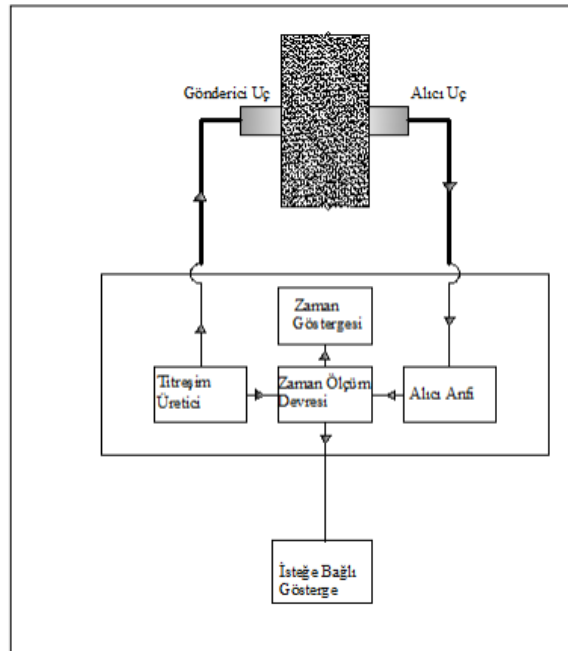
Yaklaşık olarak ultrases dalgası hızına göre beton kalitesinin sınıflandırılması Tablo 3.2’de gösterilmiştir [44].

Tablo 3.2. Ultrases dalgası geçiş hızı ve beton kalitesi ilişkisi [44]

Ultrases Geçiş Hızı (V) km/sn	Beton Kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
<2,0	Çok zayıf

Ultrases geçiş hızı deneyinin amacı; Dalgalar elektroakustik iletici ile dönüştürücü uçları tarafından oluşur. Dönüştürücü uçlar beton malzemenin yüzeyi ile temas durumundadır. Dalgalar beton malzemesi üzerinden geçirildikten sonra elektrik enerjisine çevrilir. Bu işlem ikinci bir uç tarafından meydana getirilir. Bu işlemde aradaki mesafe yani “L” bilinmektedir. Geçiş süresi olan “T” ise elektronik olarak ölçülüp dalga hızı hesaplanmaktadır [45].

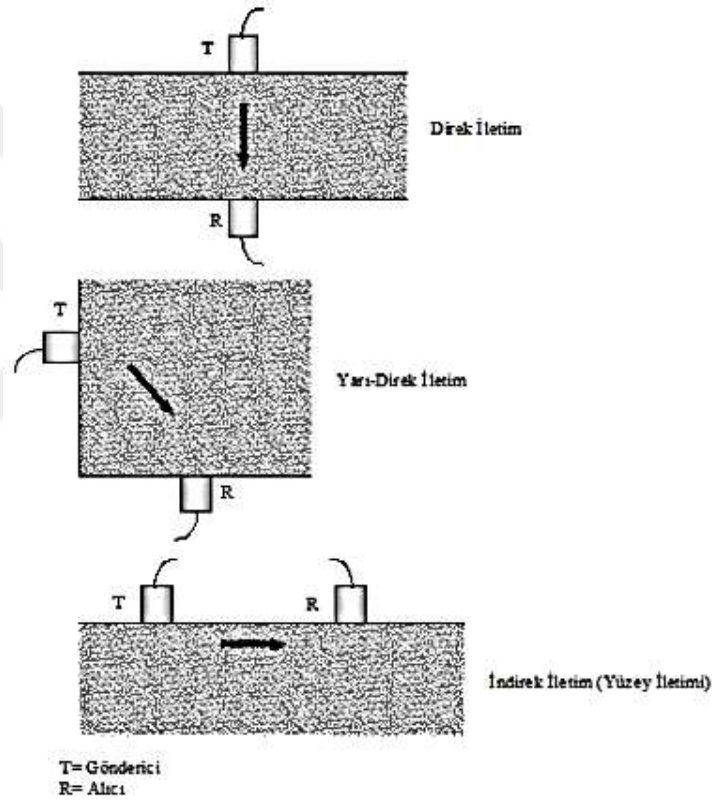
Aşağıda bu sistemi gösteren şematik şekil, Şekil 3.8’de gösterilmiştir [46].



Şekil 3.8. Ultrases yöntemi deney düzeneği [46]

Ultras ses geçiş hızı deneyinin yapılışı; ultras ses geçiş hızı belirleme cihazı alıcı ve gönderici uçları karşılıklı yüzeylere yerleştirilerek ölüm yapılır. Aynı zamanda komşu yüzeylere ve aynı yüzeye yerleştirilerek de yapılılabilmektedir. Ancak burada en iyi sonucu dalgaların yayılmalarından dolayı, karşılıklı yüzeylere uçlar yerleştirerek okunan değerlerle elde edilmektedir. Eğer yzeyleler düzgün değilse veya köşe elemanlar gibi karşılıklı yzeylelerin görülememesi durumlarda aynı yzeylelere göre uygulama ya da komşu yüzeye uygulama gerçekleştirilebilir [45].

şekil 3.9’da değişik şekillerde ölümler verilmiştir [46].



şekil 3.9. Ultras ses yöntemi deneyinin farklı şekillerde uygulanma düzeneği [46]

Doğrusal iletim ölümlerinde ölüm yolu uzaklığı, cihazın alıcı ile gönderici uçları arasındaki uzaklık yani beton ölüm noktaları arasındaki uzaklık olarak alınır ve kısa olan dik mesafedir. Bu mesafe %1 hassasiyetle lmlp kaydedilir. Yarı-doğrusal iletim ölümlerinde ise iki uc arasındaki merkezden merkeze uzaklığı kullanılarak kaydedilir. Dolaylı iletim ölümlerinde, değişik aralıklara göre ölümler yaparak kaydedilir. Beton malzeme ile cihaz uçları arasında yeteri kadar akustik bağlanmanın sağlanması gerekir. Bunun için ise tüm uçlara kontak maddesi sürülür. Cihaz uçları beton ölüm yüzeyine sıkıca bastırılıp ölüm yapılarak cihaz üzerinde ultras ses geçiş süresi μs (mikrosaniye) olarak okunup kaydedilir. Bu lmler, rastgele

seçilen birçok noktada tekrarlanır. Cihazda okunan bu ses geçiş süresi, ses hızına aşağıda verilen Denklem 3.4'teki bağıntı ile çevrilir [45].

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.4)$$

Burada;

V : Ses geçiş hızı (km/sn)

L : Numune boyutu (km)

T : Ses geçiş süresi (sn)

Ultras ses geçiş hızını olumlu yada olumsuz yönde etkileyen faktörler, beton malzemenin rutubet durumu yanında başkada faktörler vardır. Bunlar ise iyi bir betondan beklenen özellikleri etkileyen faktörlerin aynısıdır [43].

3.3.4. Beton porozitesi

Betonun gözenek göstergesi olan porozite, malzemenin boşluk hacminin toplam hacmine oranı şeklinde ifade edilir. Porozitenin açık tarafa doğru torba, dış kısma doğru açık iç kısma doğru ise kapalı şeklinde gözenek, hem dışarıda hem içeride kapalı şekline kapalı gözenek son olarak kanal şeklinde olan poroz yapıya da açık gözenek denir. Porozite boyutu yoktur ve birimsizdir [47].

Porozite deneyi, numuneler etüvde 105°C' de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulup, kuru ağırlıkları ölçüldükten sonra, su ile doldurulmuş bir kap içine birbirlerine ve kabın tabanına temas etmeyecek şekilde yerleştirilmesiyle yapılır. Numuneler su içerisinde 48 saat bekletilerek su emmeleri sağlanır. Su içerisinde bekletilen numunelerin ağırlığını belirleyebilmek için Arşimet terazi düzeneği ile su içinde tartılırlar. Son olarak, sudan çıkarılan numunelerin yüzeylerindeki ince su tabakası bir bez yardımıyla temizlenerek su emmiş ağırlıkları bulunur [47].

4. MATERYAL VE METOT

Deneyisel çalışmamızda kullandığımız malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, beton numunelerindeki karışımlarda kullanılan malzeme miktarlarının belirlenmesindeki yöntemler ve yapılan deneysel çalışmaların özellikleri bu bölümde tanıtılmıştır.

4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Beton numunelerin hazırlanmasında kullanılan çimentonun, agregaların, atık alüminyum talaşının malzemeleri üretici firmaları tarafından temin edilmiş ve özellikleri alt başlıklarda verilmiştir.

a) Çimento

Deneylerde, Elazığ Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R çimento kullanıldı. Çimentonun bazı kimyasal bileşim oranları ve mekanik özellikleri Tablo 4.1 'de verilmiştir. Tablodaki değerler çimentonun alındığı fabrikada elde edilmiş ve TS EN 197-1:2002 [52] standardının sınırlarını sağlamaktadır.

Tablo 4.1. Hazırlanan numunelerde kullanılan çimentoya ait kimyasal bileşim ve mekanik özellikler [53]

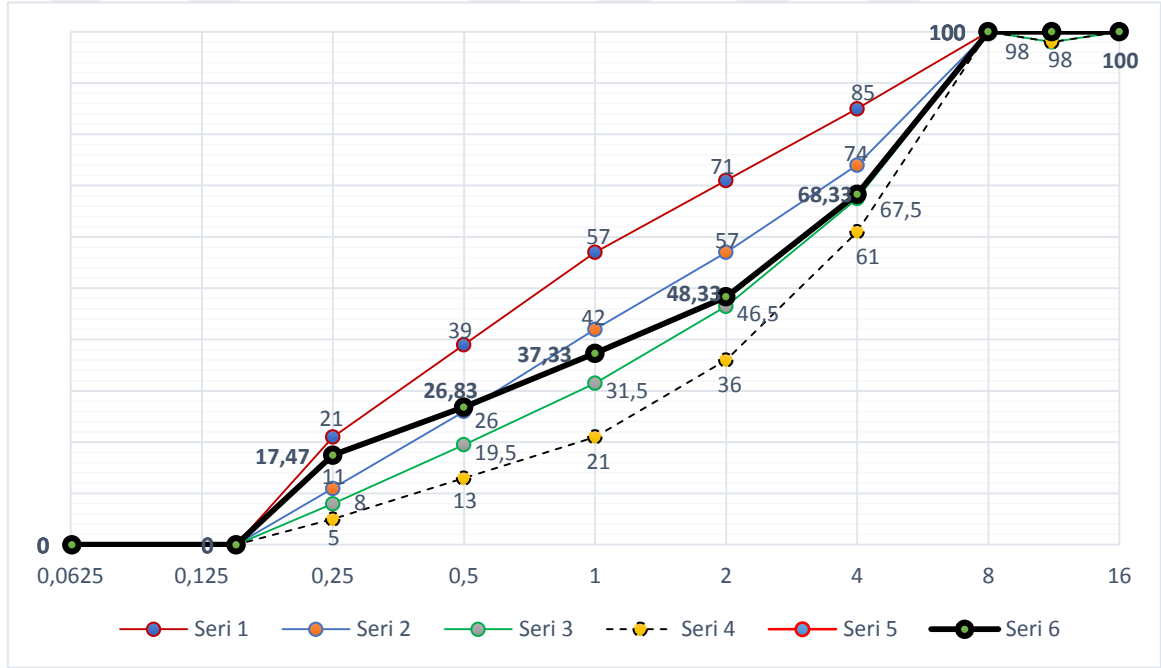
Kimyasal Bileşim		Mekanik Özellikler	
SiO ₂ (%)	18,50	Basınç Dayanımı MPa	
Al ₂ O ₃ (%)	4,80	2 gün	28,70
Fe ₂ O ₃ (%)	3,25	7 gün	44,40
CaO (%)	62,20	28 gün	52,90
MgO (%)	2,00		
SO ₃ (%)	3,20	Özgül ağırlık(g/cm ³)	3,10
Na ₂ O (%)	0,50	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3650
K ₂ O (%)	0,75	Priz Başlangıcı (dk)	145
Serbest Kireç (%)	1,40	Priz Sonu (saat)	03:55
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O) (%)	1,01	Hacim Sabitliği (mm)	0,50
Su İhtiyacı (vicat suyu) (%)	27,80		
Kızdırma Kaybı (%)	2,70		
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,20		

b) Agrega

Hazırlanan tüm numunelerde, Elazığ Palu yöresinden elde edilen, doğal dere agregası kullanıldı. Çalışmada $d_{max}=8$ mm olarak belirlenmiştir. Agregalar numune üretiminden önce laboratuvar ortamında kurutuldu. Agregaya ait bazı fiziksel özellikler Tablo 4.2’de verilmiştir. Beton için belirlenen agrega granülometri eğrisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Hazırlanan numunelerde kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler

Agrega özellikleri	0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm
Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm^3)	2,44	2,71	2,81
Su Emme (%)	3,53	1,71	1,31



Şekil 4.1. Agreganın en büyük tane büyüklüğü 8,0 mm olan beton için belirlenen agreganın tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar

c) Su

Beton karışımlarında karma suyu olarak Elazığ-Merkez Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarındaki şehir şebeke suyu kullanıldı.

d) Atık Alüminyum Talaşı

Günümüzde bilim adamlarının yaptıkları çalışmalarda, atık miktarının her geçen gün oldukça fazla miktarda arttığını ve bu ürünlerin çevreyi gittikçe daha büyük oranda tehdit eder

hale gelen bir problem olarak görmektedirler. Bu nedenden dolayı araştırmacılar geri kazanılabilir atıkların hammaddelerin yerine kullanımına teşvikine dikkat çekerek, bunlar ile ilgili çeşitli bilimsel araştırmalar yapmışlardır. Araştırmacılar, her atığın hammadde veya katkı malzemesi olarak kullanılamayacağını bunlar ile ilgili detaylı bilimsel çalışmaların yapılmasına gerek duyulduğunu belirtmişlerdir [49-50].

Alüminyum, çok üstün korozyon özelliğinin oluşu dolayısıyla üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu görevi görmesi sebebiyle tercih edilmiştir.

Kullanılmış alüminyum kaplar ve folyolar, geri dönüşüm yoluyla yeni malzemelerin üretiminde kullanılabilir. Üstelik alüminyum geri dönüşümü, üretimde büyük miktarda enerji tasarrufu sağlar. Birincil alüminyum üretiminde (cevherden alüminyum üretimi) elektroliz ünitesinde demir, çelik üretiminde harcanandan çok daha fazla enerji harcanır. Hurdadan alüminyum üretimini, birincil alüminyum üretimine göre %95 daha tasarrufludur. Alüminyum geri dönüşüm sanayii, günümüzde en gelişmiş geri dönüşüm sanayilerinden biridir. Tüm dünyada kullanılan alüminyumun %50'si geri kazanılmaktadır. Bu, alüminyumun topraktan çıkarılması ve işlenip elde edilmesinin yol açtığı çevre kirliliğine karşı da bir önlemdir [51].

Elazığ sanayi sitesinde faaliyet gösteren Aykü alüminyum atölyesinden temin edilen atık alüminyum talaşı, alüminyum sac ve profillerin işlenmesi sonucu atıl hale gelen alüminyum talaşlarıdır. Bu talaşların özgül ağırlığı 2.7 gr/cm^3 , ergime sıcaklığı $660,30 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ebatları 3-8 mm'dir. Şekil 4.2'de kullanılan atık talaşlarına ait görünüm verilmiştir.



Şekil 4.2. Beton numunelerde kullanılmış atık alüminyum talaş görüntüsü.

4.2. Deney Numunelerinin Özellikleri ve Üretimi

4.2.1. Beton bileşimleri

Deneylerde kullanılan 100 mm' lik küp beton numuneler, TS 802'de[54] belirtilen beton karışım esaslarına göre hazırlanmıştır. Karışım hesabında beton dayanım sınıfı C30 olarak alınmış, dozaj tüm karışımlarda sabit olarak 400 kg/m³ belirlenmiştir. S/Ç oranı 0,40 , 0,50 ve 0,60 olarak hazırlanan beton numunelerin üretimi sırasında, karışıma ince agreganın hacim olarak % 0,50 ve % 1,00 oranlarında atık alüminyum talaşı ilave edilerek, talaş katılmamış kontrol numunelerini de içeren 9 seri şeklinde toplam 324 adet beton numune hazırlanmıştır. 24 saat sonunda kalıptan çıkarılan beton numuneler 28 gün boyunca 20±3 °C kirece doygun suda kür edilmiştir. Kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde sıcaklık deneyi öncesinde ve sonrasında olmak üzere basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, porozite tayini ve ultrases geçiş hızı tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık deneyleri TS EN 1363-2'ye [55] uygun olarak yapılmıştır.

Hazırlanan numunelerin karışım oranları Tablo 4.3'te verilmiştir

Tablo 4.3. Deney için hazırlanan numunelere ait karışım oranları (kg/m³)

Seri	Dozaj	S/Ç	Talaş Oranı %	Su (kg)	Çimento (kg)	4-8 (kg)	2-4 (kg)	0-2 (kg)	Al Talaş (kg)
S1	400	0,40	0,00	160,00	400,00	659,47	544,03	561,67	0,0000
S2	400	0,40	0,50	160,00	400,00	659,47	544,03	558,76	3,1070
S3	400	0,40	1,00	160,00	400,00	659,47	544,03	555,95	6,2140
S4	400	0,50	0,00	200,00	400,00	620,45	511,83	528,33	0,0000
S5	400	0,50	0,50	200,00	400,00	620,45	511,83	525,69	2,9232
S6	400	0,50	1,00	200,00	400,00	620,45	511,83	523,05	5,8463
S7	400	0,60	0,00	240,00	400,00	581,42	479,64	495,00	0,0000
S8	400	0,60	0,50	240,00	400,00	581,42	479,64	492,63	2,7393
S9	400	0,60	1,00	240,00	400,00	581,42	479,64	490,15	5,4786

4.2.2. Numunelerin üretimi

Numunelerin tamamı Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Laboratuvarında hazırlanmıştır. Harç karıştırma teknesinde temizliğine dikkat edilerek yapılan harç karıştırma işleminde öncelikle kontrol numuneleri (Alüminyum atık talaşı kullanılmadan hazırlanan numuneler) hazırlanmıştır. Hesabı yapılmış oranlarda çimento, agrega ve su karışımıyla istenilen kıvama getirilmiş taze beton malzemesi, temizlenmiş ve yağlanmış 10x10x10 cm ebatlarında küp kalıplara dökülmüş bu kalıplarda 24 saat süreyle bekletilmiş, ardından kalıplardan çıkartılan

numuneler 28 gün süreyle standartlara uygun kür havuzuna koyulmuştur. 28 gün sonra kür havuzundan çıkartılan numuneler 105 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 24 saat süreyle bekletilmiştir. 24 saat sonra etüvden çıkartılan numuneler deneylerde kullanılmak için ortam sıcaklığında kuru zeminde istiflenmiştir.

4.3. Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

Betona farklı oranlarda atık alüminyum talaşı, ince agrega ile yer değiştirerek betonun özelliklerine etkilerini ve yüksek sıcaklık etkisinden sonra arta kalan dayanımlarını belirlemek amacı ile gerçekleştirilen deneysel çalışma kapsamında beton numuneler üretilmiştir. Numunelerin yüksüz olarak istenilen sıcaklık derecesine kadar ısıtılması ve fırın içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra deneylerin yapılması prensibine göre planlanmıştır.

Kuru zeminde istiflenen numuneler daha sonra 400, 500 ve 600 °C olmak üzere üç farklı yüksek sıcaklığa maruz bırakıldı. Numuneler maksimum ısıtma kapasitesi 1200 °C ve ısıtma hızı 2.5 °C/dk. olan Protherm HLF 150 markalı laboratuvar tipi fırında (Şekil 4.3.) belirtilen sıcaklıklara ulaşana kadar ısıtıldı ve bu sıcaklıklarda 1 saat bekletildi. Daha sonra, numunelerin fırın içerisinde yaklaşık 2 °C/dk. soğuma hızı ile oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Hazırlanmış numunelerde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve porozite deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.3. Yüksek sıcaklık fırını.

4.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Tamamı küp şeklinde olan numuneler üzerinde TS EN 12390-3'e [56] uygun basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanım deneyi, ELE Autotest 3000 marka, 300 ton kapasiteli numune boyutuna göre yüksekliği ayarlanabilir hidrolik yük kontrollü beton basınç dayanım presinde gerçekleştirilmiştir(Şekil 4.4). Bu deneyde küp şeklindeki numuneler, presin iki çelik sıkıştırma tablası arasına yerleştirilmiştir. Küp numuneler 3 kg/cm²/sn'lik sabit hızla yüklenerek, P_k kırılma yükleri belirlenmiştir. Numenin kırıldığı andaki belirlenen P_k kırılma yük kuvvetinin yüzey alanına bölünmesi ile basınç dayanımı hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Basınç pres makinası.

4.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Betonun yarmada çekme dayanımı belirlemek için küp şeklindeki numunelerde TS EN 12390-6'ya [38] uygun olarak Şekil 4.5'te gösterilen deney düzeneğinde yarma deneyi yapılmıştır. Yarmada çekme dayanımını belirlemek için küp şeklindeki beton numuneler pres tablaları arasına yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan küp numunesinin alt ve üst kısımlarına 10 cm uzunluğunda 5x5 mm genişliğinde çelik çubuklar yerleştirilir.

Şekil 4.5'te deney cihazına yerleştirilen küp numuneye yük uygulanır. Beton numune, yükün uygulandığı yerde kısılmaya maruz kalırken orta bölgede ise yatay eksende uzamaya maruz kalmaktadır. Uygulanan bu yük süresi, numune yükleme doğrultusuna paralel olarak kırılıncaya kadar devam eder. Kırılma anında P_c kırılma yükü ölçülür.



Şekil 4.5. Yarmada çekme dayanımlarında küp numune yerleştirilmiş pres görüntüsü.

4.3.3 Ultrases geçiş hızı deneyi

Hazırlanan tüm numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler küp numunelerin beton döküm yönüne dik düzgün olan karşılıklı yüzlerinden alınmıştır. Ölçümler alınırken cihaz sensörlerinin karşılıklı aynı noktada olmalarına dikkat edilmiştir. Bunu sağlamak için yere paralelliği tam olarak sağlanan yüzeyler üzerinde ölçüm için bir sistem kullanılmıştır. Sensörlerin takıldığı yüzeyler tozdan arındırılarak jel ile temizlenmiş ve sensörler ile numune arasında boşluk kalmayacak şekilde tam teması sağlamak için jel kullanılmıştır. Ölçümleri yapılan numune boyutunun, okunan sürenin ortalamasına oranlanması ile ses geçiş hızları Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır [45].



Şekil 4.6. Ultrases geçiş hızı deneylerinde kullanılan cihaz görüntüsü.

4.3.4 Porozite deneyi

Porozite deneyleri için 10x 10x10 cm'lik küp numuneler hazırlanmıştır. Kirece doymun su bulunan kür havuzu içerisinde 28 gün kür işlemine tabi tutulan numuneler kür havuzundan çıkarılarak kontrol numuneleri hemen, diğer numuneler ise 400 °C, 500 °C ve 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılıp oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakıldıktan sonra TS EN 772-4'e [57] uygun olarak porozite tayini deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.7). Hazırlanan numuneler hassas terazide doymun yüzey kuru ağırlığı, su altındaki ağırlığı ve etüvde kurutulan numunenin kuru ağırlığı tartılmıştır. Elde edilen bu ağırlıklar ile aşağıda verilen Denklem 4.1'de verilen formül kullanılarak porozite değeri elde edilmiştir [58].

$$P = \frac{W_{dyk} - W_{kuru}}{W_{dyk} - W_{su}} \times 100 \quad (4.1)$$

P : Porozite ,%

W_{dyk} : Numunelerin doymun yüzey kuru ağırlığı (kg),

W_{kuru} : Numunelerin etüv kurusu ağırlığı (kg),

W_{su} : Numunelerin su altındaki ağırlığı (kg).



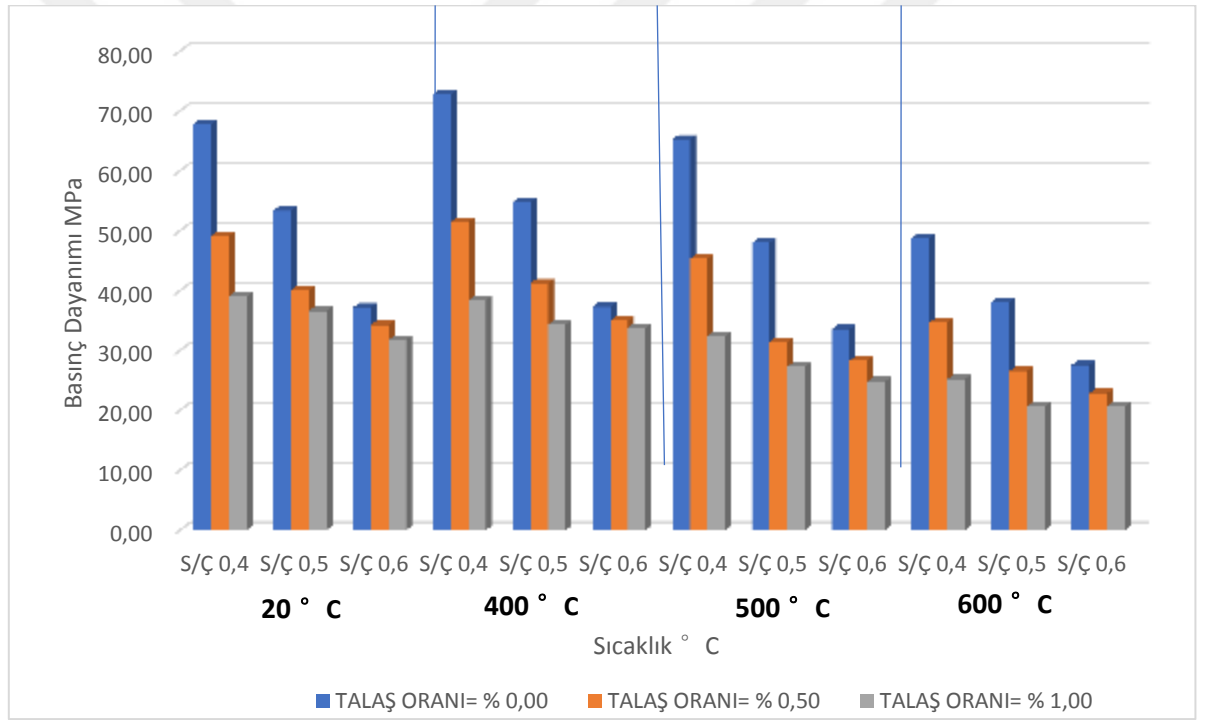
Şekil 4.7. Porozite yüzdesini belirlemek için kullanılan tartı görüntüsü.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyel çalışmalar sonucunda elde edilen değerlerin grafiksel olarak gösterimi ve numunelerin elektron mikroskobundaki görüntüleri bu bölümde verilmiştir.

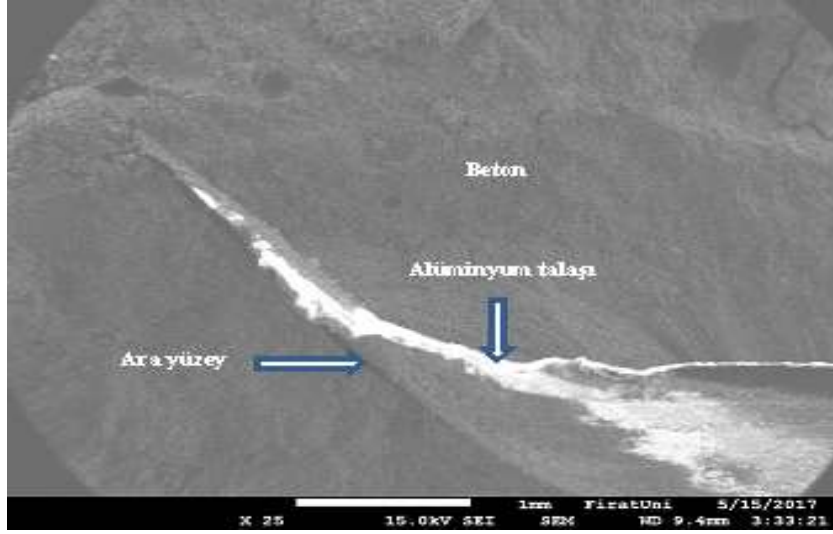
5.1. Basınç Dayanımları Deney Sonuçları

Beton numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri neticesinde elde edilen veriler Şekil 5.1’de bir arada gösterilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde ilave edilen talaş miktarı, S/Ç oranı ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak beton numunelerin basınç dayanımlarında meydana gelen değişimler görülmektedir.



Şekil 5.1. Basınç Dayanım-Sıcaklık grafiği.

Şekil 5.1’den görüleceği üzere alüminyum talaş ilavesindeki artışa bağlı olarak beton numunelerin basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, Şekil 5.2’de yer alan alüminyum talaş ilaveli betona ait elektron mikroskop görüntüsünde de görüleceği gibi, beton ile alüminyum talaş arasında yeterli aderans olmamasına bağlanmaktadır. Şekil 5.2’deki ara yüzey olarak adlandırılan beton ile alüminyum talaşının birleştiği bölgeler yetersiz aderans nedeniyle oldukça zayıf kalmıştır. Ayrıca, Şekil 5.2’ de görünen alüminyum talaşın yüzeyinde harç kalıntılarının olmaması da aderans yetersizliğinin bir göstergesidir.



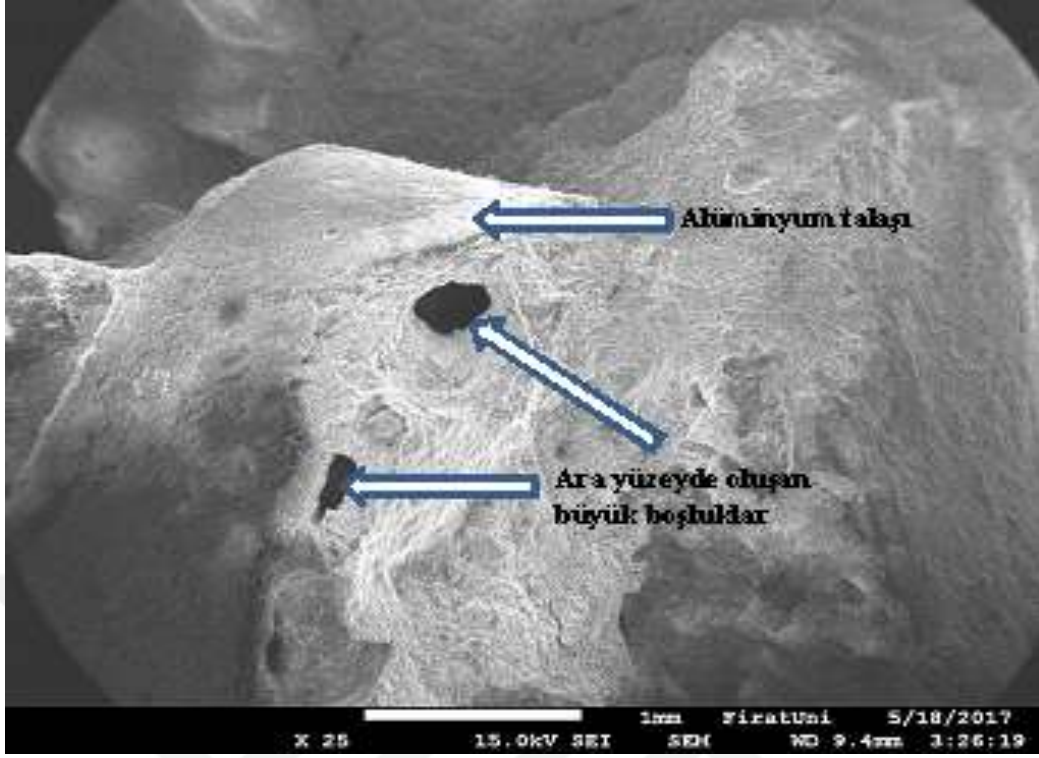
Şekil 5.2. Oda sıcaklığında alüminyum talaşı katkılı beton numunesi SEM görüntüsü

Şekil 5.1’den de görüleceği üzere, beton numunelerin S/Ç oranlarındaki artışa bağlı olarak dayanımlarında meydana gelen düşüş beklenen bir durum olup kapiler boşluklarda meydana gelen artışın bir sonucudur.

Şekil 5.1 incelendiğinde, 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan beton numunelerin neredeyse tamamında basınç dayanımlarında bir artış meydana gelmiştir. Bu durumun hidrasyon ürünlerinin yapısında bulunan adsorpsiyon suyu ve hidrat sularının 400 °C sıcaklıkta buharlaşması neticesinde katı taneciklerin birbirine daha fazla yaklaşması sonucu artan van der waals bağları ile alakalı olduğu literatürde yapılan pek çok çalışma ile açıklanmıştır [10,11,14,59]. Yine literatürde özellikle 350°C sıcaklık öncesi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bozunmasının gerçekleşmemesi sebebiyle de basınç dayanım kaybı olmadığı şeklinde açıklanmaktadır [60- 62].

400 °C sıcaklığa maruz bırakılan beton numunelere alüminyum talaş ilavesi ile birlikte S/Ç oranı 0,40 ve 0,50 olan numunelerde basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir. Ergime sıcaklığı düşük olan alüminyum talaşın Şekil 5.3’den de görüleceği üzere 400 °C de şekil değiştirerek ara yüzey bölgesinde büyük boşluklar oluşturması basınç dayanımında meydana gelen bu düşüşün bir nedenidir.

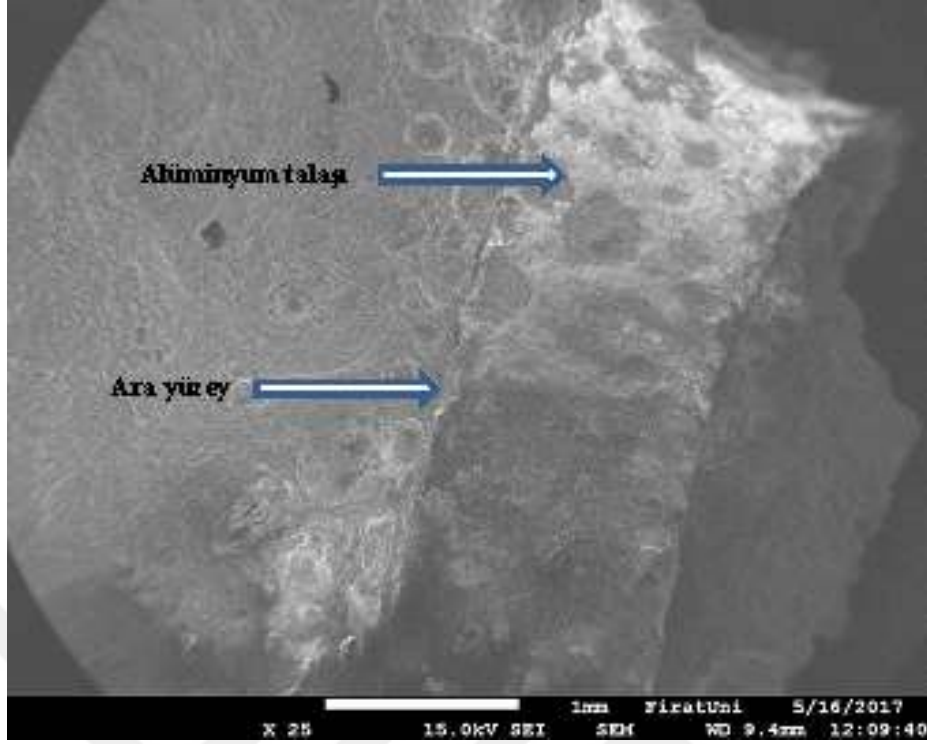
Ancak, S/Ç oranı 0,60 olan numunelerde; maruz kalınan sıcaklık ne olursa olsun yüksek sıcaklık sonrası daha az dayanım kaybı meydana gelmiştir. Bu durum, alüminyum talaşının şekil değiştirmesi sonucu ara yüzeyde oluşan boşluklar ve kapiler sistemde meydana gelen artışa bağlı olarak beton içerisinde yüksek sıcaklık sonrası oluşan buhar basıncının kaçabileceği alanlar bulması ve buna bağlı olarak da betona vereceği zararı azaltmasına bağlanabilir. Bilindiği üzere boşluklu, kalitesi düşük betonların yüksek sıcaklıktan zarar görme oranı kaliteli betonlara oranla daha azdır. Bu durum literatürde çeşitli çalışmalarda belirtilmiş olup çalışmamızdan elde edilen sonuçlar ile uyum içerisindedir [30].



Şekil 5.3. 400 °C’de alüminyum talaşı katkılı beton numunesi SEM görüntüsü

500 ve 600 °C gibi yüksek sıcaklığa maruz kalan beton numunelerin basınç dayanımında düşüş meydana gelmesi beklenen ve olağan bir durumdur. Beton dayanımında meydana gelen bu düşüş, önce hidratasyon ürünlerinden olan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ‘ in ve ardından sıcaklığın biraz daha artışı ile birlikte betonun dayanımını sağlayan $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ jellerinin bozulması ile açıklanmaktadır. Çalışmamızdan elde edilen bu sonuç literatürde yer alan birçok çalışma ile paralellik göstermektedir [63-65].

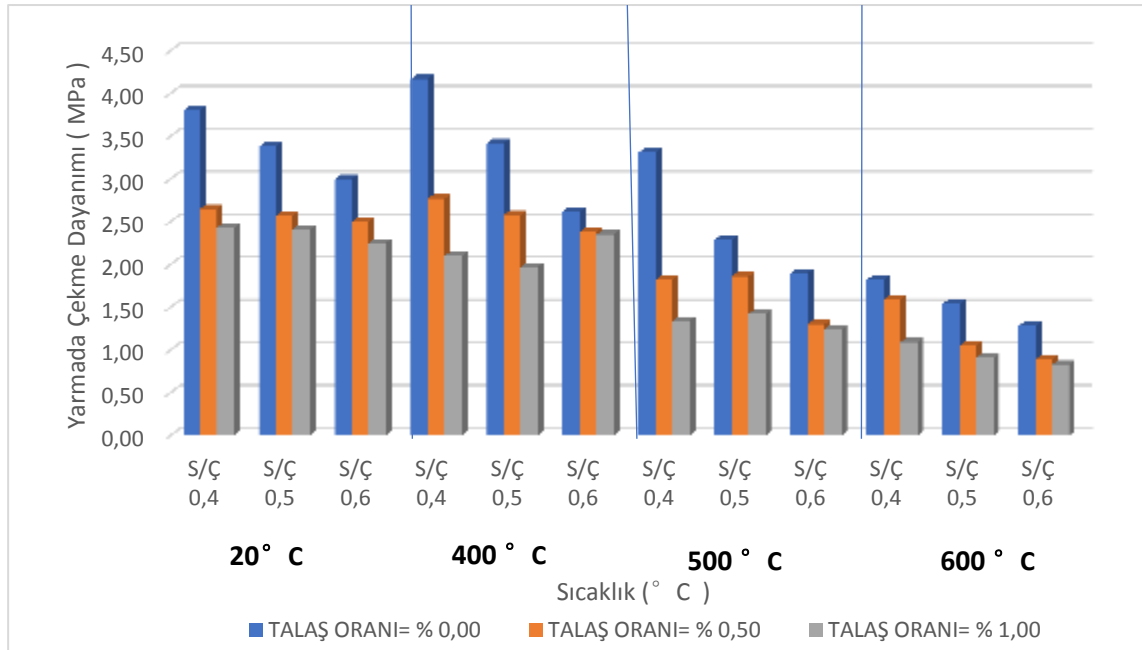
Alüminyum talaşı ilavesi ile birlikte beton numunelerin basınç dayanımlarında meydana gelen değişimler çok belirgin olmamakla birlikte, yüksek sıcaklık sonrası kalan basınç dayanımları incelendiğinde oluşan hasarın mertebesinde bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu durum S/Ç oranı 0,60 olan numunelerde daha belirgin bir şekildedir. Beton numunelere alüminyum talaş ilavesine bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda oluşan hasarın mertebesindeki düşüşün nedeni, Şekil 5.4’te yer alan SEM resminden de görüleceği üzere 600 °C’de alüminyum talaşın ergimeye başlaması sonucu ara yüzdeki zayıf bölgeleri güçlendirmesi ile açıklanabilir.



Şekil 5.4. 600 °C'de alüminyum talaşı katkılı beton numunesi SEM görüntüsü

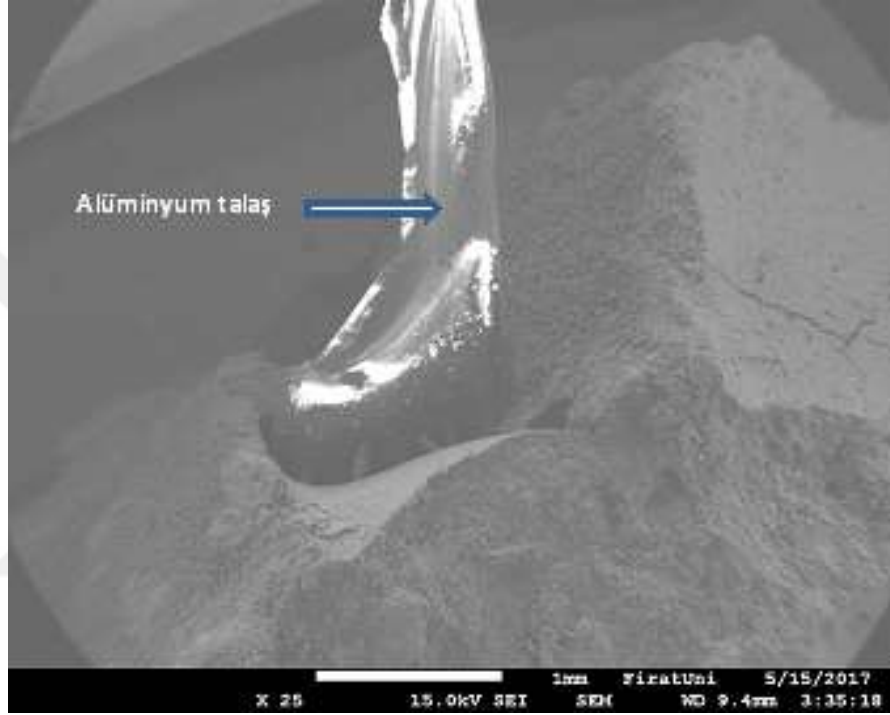
5.2. Yarmada Çekme Dayanımları Deney Sonuçları

Şekil 5.5 incelendiğinde, beklenildiği gibi beton numunelerin yarmada çekme dayanımları basınç dayanımları ile benzer değişimler sergilediği görülmektedir.



Şekil 5.5. Yarmada Çekme Dayanım-Sıcaklık grafiği

Ancak, lif etkisi yaratarak çekme dayanımını olumlu yönde etkileyeceği düşünülen alüminyum talaşlarının beklenildiğinin aksine çekme dayanımı üzerine olumlu bir etkisi olmamıştır. Bu durum, Şekil 5.6'da yer alan SEM resminden de görüleceği gibi alüminyum talaşlarının harç ile yeterince aderans sağlayamamasının yanı sıra kırılğan bir yapıya sahip olmaları ile açıklanabilir. Şekil 5.6'da görülen talaş harç ile yeterince aderans sağlayamadığı gibi çekme kuvvetleri altında kopmuştur.



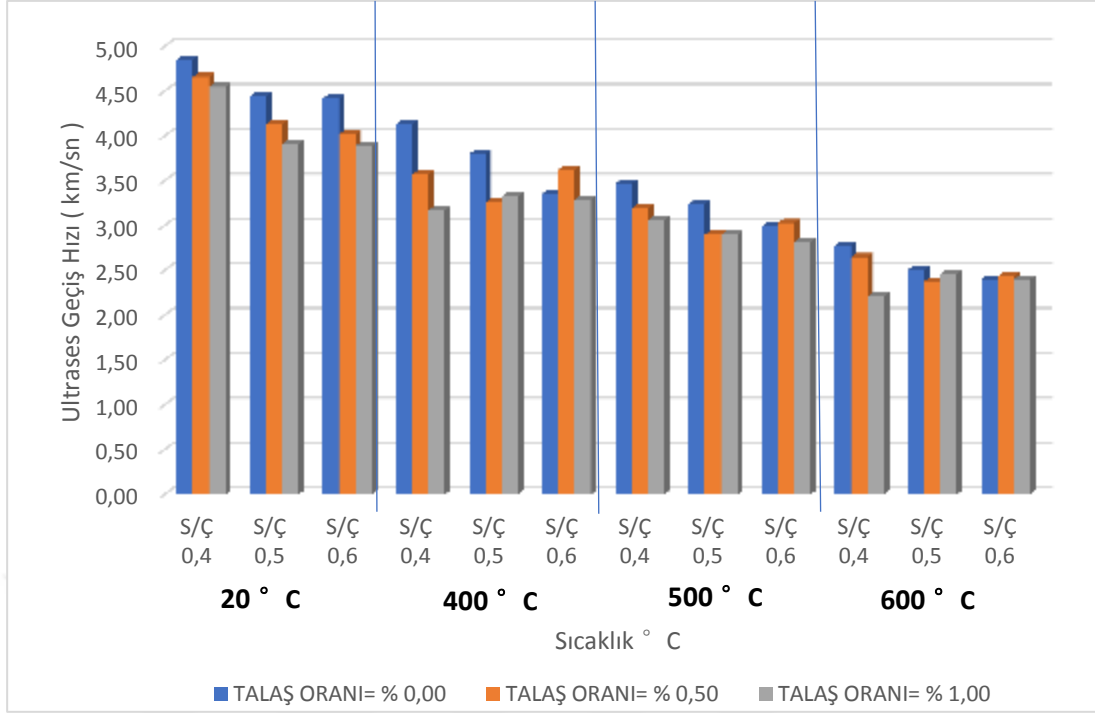
Şekil 5.6. Oda sıcaklığındaki alüminyum talaş katkılı beton numunesi SEM görüntüsü

Beton numunelerin yüksek sıcaklıkta sergilediği çekme davranışları basınç değişimleri ile paralellik göstermektedir. 400 °C den sonraki sıcaklıklarda Şekil 5.4'te gösterildiği gibi alüminyum talaşlarda ergime sıcaklığına yaklaşıldığı için şekil değişikliği ve dayanım kaybı meydana gelirken beton içerisindeki jellerin bozulması ile birlikte büyük miktarda çekme dayanımlarında düşüş gözlenmiştir.

5.3. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

Ultrases geçiş hızı, malzemedeki boşluk miktarı ile ters orantılı olarak artış gösterir. Malzemedeki doluluk miktarı arttıkça ses iletimi daha hızlı olacağından geçiş hızı da artar.

Ultrases grafiklerinde geçiş hızı, talaş oranı dikkate alınarak yüksek sıcaklık sonrası etkileri incelenmiştir.



Şekil 5.7. Ultrases Geçiş Hızı-Sıcaklık grafiği

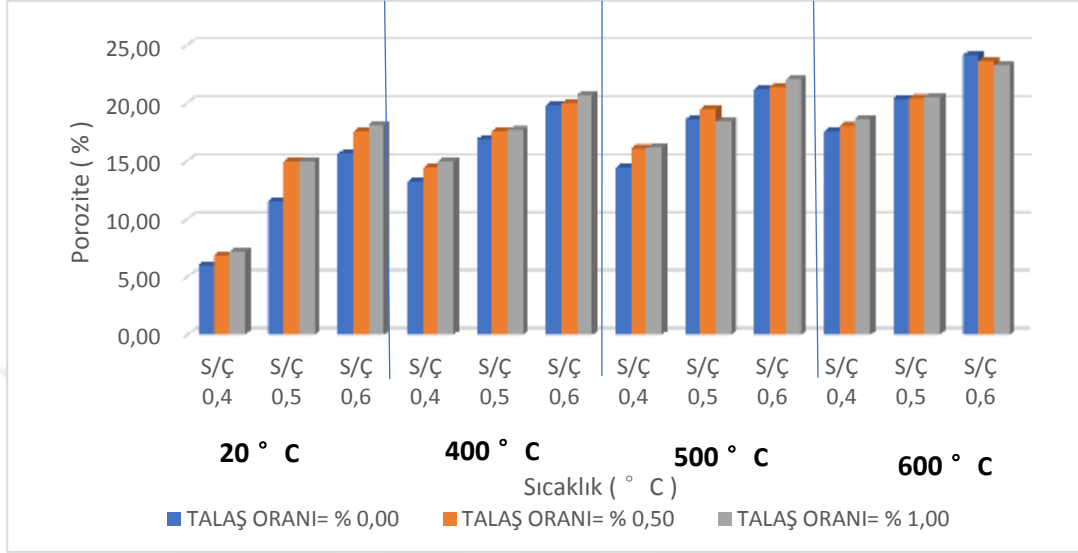
Şekil 5.7’de görüldüğü gibi, alüminyum talaşı arttıkça ultrases geçiş hızında düşüş meydana gelmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda atık alüminyum talaşının tüm sıcaklıklara maruz kalmış numunelerde ultrases geçiş hızını düşürdüğü görülmüştür. Literatürde yapılan bir çalışmada yüksek sıcaklık değerlerinin artışıyla beraber ultrases dalga hızlarında azalmalar meydana gelmiştir [66]. Bu düşüşün sebebi, Şekil 5.3 ‘te Sem fotoğrafında görüldüğü üzere, alüminyum talaşının, harçla yeteri kadar aderans sağlayamaması nedeniyle sıcaklık artışına bağlı olarak ara yüzeyde oluşan boşluk miktarına ve harcın yapısında meydana gelen çatlak oluşumları ile açıklanabilir.

Beton numunelerinde sıcaklığın 300 °C’ye ulaşmasında C-S-H ara yüzeylerindeki su, C-S-H ve sülfalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümünün kaybedilmesi mikro çatlaklara yol açmaktadır. Mikro çatlaklar önce (yaklaşık 300 °C’de) Ca(OH)₂’nin toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede (yaklaşık 400 °C’de) görülür. 400 ile 600 °C arasındaki yüksek sıcaklıklar sertleşmiş çimento hamurunda boşluk sisteminin tamamen kurumasına, hidrasyon ürünlerinin ayrışmasına ve C-S-H jellerinin parçalanmasına yol açar. Bu durum ses dalgaları geçiş süresini arttırarak ultrases geçiş hızında düşüş meydana getirmektedir [59,63,67].

5.4. Porozite Deneş Sonuçları

Elde edilen beton numunelerine ait porozite tayini deneş sonuçları Şekil 5.8' de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Porozite-Sıcaklık grafiği

Şekil 5.8'de, ilave edilen talaş miktarı, S/Ç oranı ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak beton numunelerin porozitede meydana gelen değişimleri görülmektedir. Şekil 5.8'de, alüminyum atık talaş miktarı arttıkk, S/Ç oranı arttıkk ve sıcaklık arttıkk porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir.

Bu durum şu Şekilde açıklanmaktadır, imento hamurundaki jel yapıyı oluşturan kalsiyum silikat hidrate'nin (CSH) katı öğeleri adsorpsiyon suyu yardımıyla birbirine bağlanmakta ve belirli bir sıcaklıktan itibaren buharlaşmaya başlamaktadır. Buharlaşan su, harcın büzülerek çatlamasına neden olmaktadır [68]. Dolayısıyla harcın yapısında oluşan çatlaklar ve boşluklar da porozite değerlerinin artmasına neden olmaktadır [14]. Yapılan bazı çalışmalarda yüksek sıcaklığın porozite değerlerini arttırdığı bildirilmiştir [15].

Beton numunelere ince agrega ile yer değiştirecek Şekilde ilave edilen alüminyum talaşların yukarıda da belirtildiği gibi beton ile yeterli aderansı sağlayamaması sonucu ara yüzeyde oluşturduğu boşluklar numunelerin porozite değerlerinde artışa yol amiştir.

Elde edilen porozite ve ultrases geçiş hızı değerleri birbirleriyle uyumlu olup basınç ve çekme dayanımı verilerini destekler niteliktedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada metal endüstrisinin atık bir malzemesi olan alüminyum talaşı ince agrega ile farklı oranlarda yer değiştirecek şekilde betona ilave edilmiş ve elde edilen numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrasında basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, ultrases geçiş hızları ve porozite değerleri belirlenmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen veriler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Beton numunelere ilave edilen alüminyum talaşı oranındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, beton ile talaş arasındaki yetersiz aderans kaynaklanmaktadır. Üretilen beton numunelerin basınç dayanımlarında 400 derece sıcaklıkta bir miktar artış meydana gelmiştir. Meydana gelen bu artış adsorbsiyon suyunun buharlaşması sonucu jel parçacıklarının birbirine olan mesafelerindeki azalmadan dolayı artan van der Waals kuvvetleri ile alakalıdır. 500 ve 600 derece gibi yüksek sıcaklıklarda ise hidrasyon ürünlerinin yapısı bozulduğu için beton numunelerin dayanımında düşüşler olmuştur. Alüminyum talaşı ilavesi betonlarda meydana gelen hasarın bir miktar düşüşüne katkı sağlamıştır.
- Beton numunelere ilave edilen alüminyum talaşı kırılma bir yapıya sahip olması ve yeterli aderans sağlayamaması nedenleriyle numunelerin yarmada çekme dayanımları üzerine olumlu bir etki gösterememiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton numunelerinde yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımına benzer davranış göstermiştir. Yarmada çekme dayanımlarında 400 °C'de artış görülürken, 500 ve 600 °C sıcaklıklarda azalma göstermiştir. Bu düşüşlerin sebebi, ergime sıcaklığına yaklaşıldığı için talaş yapısında meydana gelen şekil değişikliği ve beton içerisindeki jellerin bozulması olarak açıklanabilir. Bu da dayanım kaybını arttırmıştır. Beton numuneler kendi içinde değerlendirildiğinde harcın yapısına katılan alüminyum talaşı dayanımı düşürmüştür.
- Alüminyum talaş ilavesine bağlı olarak beton numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Ara yüzeyde meydana gelen zayıf bölgeler bu sonuç üzerinde etkili olmuştur. Yüksek sıcaklık sonrası beton numunelerin ultrases geçiş hızları azalmıştır. Sıcaklık artışı beton yapısında oluşturduğu hasar nedeniyle çatlaklar meydana gelmiştir. Oluşan bu çatlaklar ses dalgalarının geçiş süresini arttırarak ultrases geçiş hızını düşmesine neden olmuştur. Numuneler kendi içinde incelendiğinde alüminyum talaşı artışı numunede boşluk miktarını arttırması sonucunda ultrases geçiş hızını azaltmıştır.

- Alüminyum talaşı ilavesi beton numunelerin porozite değerlerinde artışa neden olmuştur. Ultrases geçiş hızı değerlerinin düşüşüne neden olan ara yüzeydeki zayıf bölgeler beton numunelerin porozite değerlerinde de artışa neden olmuştur. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin porozite değerlerinde artış görülmüştür. Sıcaklığın artışıyla numuneler rötreye uğramış, harcın yapısında çatlak ve boşluklar olmuştur. Çatlak ve boşlukların oluşumu porozite değerini arttırmıştır.
- Porozite ve ultrases geçiş hızı değerleri birbirleri ile paralel olacak şekilde beton numunelerin basınç ve çekme dayanımlarında meydana gelen değişimleri destekler nitelikte değişimler sergilemiştir.



ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışması ile alüminyum talaşlarının ince agrega ile kısmen yer değiştirecek şekilde ilave edilmesi sonucu elde edilen beton numunelerin iç yapı incelemeleri neticesinde, alüminyum talaş ile beton arasında yeterli aderans olmadığı belirlenmiştir. Bu durum beton numunelerin yangın öncesi ve sonrasında mekanik ve fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu nedenle, alüminyum talaşlarına harç ile yeterince aderans sağlayabileceği bir işlem uygulandıktan sonra beton üretiminde kullanılması durumunda olumlu sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1]. Erdoğan T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 513- 741. (2003)
- [2]. Perkins P.H., "Repair, Protection and Waterproofing, of Concrete Structures", Elsevier Applied Science Publishers Ltd., England. (1986)
- [3]. Guise S.E., Short N.R. ve Purkiss J.A., "Colour Analysis for Assessment Of Fire Damaged Concrete", Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of the International Conference Held at the University of Dundee, Scotland/UK. (1996)
- [4]. Aköz F. ve Yüzer N., Yüksek sıcaklığın nedenleri ve betonarme elemanlara etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, sayı 3, İstanbul. 2.1.1. Yangın (1994)
- [5]. ASHRAE Fundamentals, Yakacaklar ve yanma, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları:2, bölüm 15. (1997)
- [6]. TS 1263, Yapı elemanlarının yanmaya dayanıklılık sınıfları ve yanmaya dayanıklılık deney metotları.(1983)
- [7]. Haksever A., Yangın Odalarının teorik-nümerik yangın analizleri için modelleştirilmesi, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, sayı 6, sayfa 57-66. (1991)
- [8]. Avcı A.U., Dökümde enerji tasarrufu, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, sayı 178, İstanbul. (1984)
- [9]. Ramakrishnan V., Shafai H.F. ve Wu G., Cyclic heating and cooling effects on concrete durability, Concrete Durability. (1991)
- [10]. Küçük B., 'Betonun Dayanım Ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler', Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, Sayfa 79-85, (2000)
- [11]. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 5. Ulusal Beton Kongresi: Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.(2003)
- [12]. Arda T., Yardımcı N., Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Mukavemeti, Ders Notu. (1995)
- [13]. Harmathy, T.Z., Evaluation and Repair of Fire Damage to Concrete, P.O. Box 1950 American Concrete Institute 48219, Detroit. (1986)
- [14]. Keleştemus O, yıldız S, Gökçer B., " Atık mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerin yüksek sıcaklık altındaki davranışları", SDU Uluslararası Teknoloji Bilim Dergisi,(2):42-55. (2013)
- [15]. Demirel B, Gönen T, Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, C.14 (2):223-228. (2008)
- [16]. Chen, B. and Liu, J., "Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures." Cement and Concrete Research, 34, p: 1065-1069, (2004)
- [17]. Lau, A. and Anson, M., "Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete." Cement and Concrete Research, 36, p: 1698-1707, (2006)
- [18]. Yamazaki, N., Yamazaki, M., Mochida, T., Mutoh, A., Miyashita, T. and Ueda, M., "Structural behavior of reinforced concrete structures at high temperatures." Nuclear Engineering and Design, 156 (1-2), p: 121-138, (1995)
- [19]. Morley, P.D. and Royles, R., "The influence of high temperature on the bond in reinforced concrete." Fire Safety Journal, 2 (4), p: 243-255, (1980)
- [20]. Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Compressive Behavior of Fibre Reinforced High- Performance Concrete Subjected to Elevated Temperatures, Cement and Concrete Research, 34, 2215-2222, (2004)
- [21]. Peng, G.F., Yang, W.W., Zhao, J., Liu, Y.F., Bian, S.H., Zhao, L.H., Explosive Spalling and Residual Mechanical Properties of Fiber Toughened High Performance Concrete Subjected to High Temperatures, Cement and Concrete Research, 36, 723-727. (2006)

- [22]. Binici H, Çağatay İ.H., Kaplan H., ‘Değişik faktörlerin beton mukavemetinin etkisinin deneysel olarak incelenmesi’ (2000)
- [23]. Postacıoğlu, B., Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Beton Cilt 2, s. 404, İstanbul, (1986)
- [24]. Lea F. M., C. B. E, D Sc, F. R. I. C. The Chemistry Of Cement And Concrete 3rd Edition 636. s. Edward Arnold Ltd. London.(1956)
- [25]. Göktepe,M., C3A Oranı Farklı Çimentolarla Üretilmiş Betonlarda Sülfat Etkisi ve Klorür Geçirirliği, Yüksek Lisans Tezi, Đ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008)
- [26]. Ersoy, U. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Doğan Ofset, İstanbul, (1987)
- [27]. Ünal, O., “Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1994)
- [28]. Yılmaz, K., Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, (1988)
- [29]. Kocataşkın, F., Çimento ve Özellikleri Hakkında Ne Biliyorsunuz?, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul. (1965)
- [30]. Uysal, A., Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İtü,(2004)
- [31]. Anonymous, “Standard Test Method for Compressive Strength of Clindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standartds”, ASTM C 39. (1994)
- [32]. Bayülke N., “Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Genişletilmiş 3. Baskı”, İMO- İzmir Şubesi, İzmir. (2001)
- [33]. Ekmekyapar T., Örüng İ., “İnşaat Malzeme Bilgisi”. Atatürk Üniversitesi (2001)
- [34]. Başka, M., “Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi”, Atatürk Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi Erzurum.(2006)
- [35]. Şimşek, O., “Beton Teknolojisi”, Ankara.(1997)
- [36]. www.dogateknik.com.tr/TeknikBelgeler/Betonun-Mühendislik-Özellikleri. 20 Ocak 2014
- [37]. Arslan, E., Betonun Yarma Dayanımında Geometrik Değişimlerde Boyut Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ,(2006)
- [38]. TS EN 12390-6., Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 6:Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini, TSE, Ankara, (2010)
- [39]. Uygunoğlu T., Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta. (2008)
- [40]. Ün H., Yapı Malzemesi Bahar Yarıyılı Ders Slaytları, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, (2007)
- [41]. Kassas A., Studies on the Tensile Strength of Concrete, M.S. Thesis(supervised by Erdoğan, T.Y), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, (1976)
- [42]. Ersoy, U., Özcebe, G., Betonarme, 2. Baskı, EVRİM Yayınevi, İstanbul, (2007)
- [43]. Şimşek O., Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri (4. baskı), Seçkin Yayıncılık, Ankara.(2011)
- [44]. IAEA., Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures, International Atomic Energy Agency Vienna.110.(2002)
- [45]. CEN, Pr EN 12504-4/2003., Testing Concrete-Part 4: Determination of Ultrasonic Pulse Velocity. Brussels
- [46]. Naik T.R., Malhotra V.M. ve Popovics J.S., The Ultrasonic Pulse Velocity Method. In: Malhotra, V.M. ve Carino, N.J., Eds. Handbook On Nondestructive Testing Of Concrete, (2nd ed.). CRC Press, Boca Raton.(2004)
- [47]. Yiğitler M., “ Çimentoda fiziksel,kimyasal ve mekanik analizler deneyi” , Ondokuz mayıs üniversitesi
- [48]. http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/cevrekorumu/moduller/kati_atik_toplama.pdf

- [49]. Alyanak A., "Tehlikeli ve Zararlı Atıkların Yönetimi ve İlgili Yönetmeliğin Getirdikleri", I.Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, 370-385, Bursa,(1996)
- [50]. Qasrawi , Shalabi , Asi I. Use of Low Cao Unprocessed Steel Slag in Concrete as Fine Aggregate. Constr Build Mater. 23, 1118-1125.(2009)
- [51]. Binici H., Temiz H., Sevinç A.H., Eken M., Kara M., Şayir Z., Alüminyum Talaşı, Bims ve Gazbeton Tozu İçeren Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kahramanmaraş/TÜRKİYE (2013)
- [52]. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. TS EN 197-1, Ankara. (2002)
- [53]. <http://www.cimentas.com.tr/urunler/1003/tip-1/1002/425-r.aspx>
- [54]. Türk Standardı Enstitüsü (TSE), "Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları", TS 802, Ankara, Türkiye, 1- 29 (2009).
- [55]. TS EN 1363-2: Yangına Dayanıklılık Deneyleri-Bölüm 2:Alternatif ve ilave işlemler Ankara.(2010)
- [56]. TS EN 12390-3., Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 6:Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini, TSE, Ankara, (2010)
- [57]. TS EN 772-4., Kagir birimler- Deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kagir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini.(2010)
- [58]. Kearsley EP, Wainwright PJ, Porosity and Permeability of Foamed Concrete. Cement and Concrete Research, 34: 805-812.(2001)
- [59]. Keleştemur O, Demirel B., "Doğal pomza kullanılarak üretilen betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışı" Ankara,(2010)
- [60]. Demirel B, Gültekin E, Metakaolin katkılı taşıyıcı hafif betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışının incelenmesi. 2nd International Sustainable Buildings Symposium, pp 138-143, 28-30 Mayıs, Gazi Üniversitesi, Ankara.(2015)
- [61]. Demirel B, Keleştemur O, Effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with finely ground pumice and silica fume. Fire Safety Journal, 45 (6–8): 385-391.(2010)
- [62]. Kong Y, Daniel L, Sanjayan GJ, Crentsill SK, Comparative performance of geopolymers made with metakaolin and fly ash after exposure to elevated temperatures. Cement and Concrete Research, 37 (12): 1583-1589.(2007)
- [63]. Baradan İ.B, Aydın S. "Betonun Durabilitesi", Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, İstanbul, 21-23 Şubat 2013
- [64]. G.A. Khoury, "Compressive strength of concrete at high temperatures a reassessment", Magazine of Concrete Research44 (161), 291–309 (1992)
- [65]. J. Piasta, "Heat deformation of cement phases and microstructure of cement paste", Materials and Structures 17 (102) 415–420 (1989).
- [66]. Kaya T, Yazıcıoğlu S., " Kalsine bentonit katkılı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık etkisi" BEÜ fen bilimleri dergisi ,4(2), 150-160,(2015)
- [67]. Lin W.M, Lin T.D, Powers-Couche L.J, "Microstructures of Fire-Damaged Concrete", American Concrete Institute Materials Journal, No. 93, 199-205. (1996)
- [68]. Durmuş G., ve Arslan M.,"Yüksek Sıcaklığın Beton Boşluk Yapısına Etkileri"5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu(IATS'09) ,Karabük, Türkiye.(2009)

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah KUZU

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : Elazığ / Palu
Doğum Yılı : 1980
Uyruğu : TC
Adres : Elazığ/Merkez
E-posta : abduhahkuzu6@gmail.com
Yabancı Diller :

EĞİTİM BİLGİLER

İlkokul : Elazığ Atatürk İlkokulu
Ortaokul : Elazığ Mezre Ortaokulu
Lise : Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesi
Lisans : 1) Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi/Yapı Eğitim Bölümü/Yapı Öğretmenliği (2003)
2) Gümüşhane Üniversitesi/Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi/İnşaat Mühendisliği (2015)

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

THBB Hazır beton kongresi/İstanbul, Şubat 2013.

İŞ DENEYİMİ

Munzur Üniversitesi Pertek Sakine Genç MYO / Öğretim Görevlisi (2012-Halen devam)