

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZMİR-ALAÇATI TAŞI AGREGALI HAFİF BETON ÖZELLİKLERİNİN
İRDELENMESİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali İhsan ÖZDİŞÇİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

EKİM 2019

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZMİR-ALAÇATI TAŞI AGREGALI HAFİF BETON ÖZELLİKLERİNİN
İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali İhsan ÖZDİŞÇİ
(Y160227009)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

EKİM 2019

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsünün Y160227009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ali İhsan Özdişçi, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İZMİR-ALAÇATI TAŞI AGREGALI HAFİF BETON ÖZELLİKLERİNİN İRDELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri :

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alper ÇANKAYA
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA
Dokuz Eylül Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : 23.10.2019
Savunma Tarihi : 16.10.2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesiyle yol gösterici olarak etkin rol alan değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ'e, teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme temini konusunda desteklerini esirgemeyen Batıçim Batı Anadolu Çimento San. AŞ ve Aydoğdu AŞ'ne ayrıca, deneysel çalışmalarda laboratuvar ekipmanlarıyla tarafıma katkı sağlayan Batı Beton AŞ ve Kaanlab Zemin ve Yapı Malzemeleri Test Laboratuvarı Ltd. Şti'ne teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

Ekim 2019

Ali İhsan ÖZDİŞÇİ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Hafif Agregalar	3
2.1.1 Doğal hafif agregalar	3
2.1.2 Yapay (sentetik) hafif agregalar	4
2.2 Türkiye'nin Hafif Agregası Potansiyeli ve Kullanım Alanları	4
2.3 Hafif Betonlar.....	5
2.3.1 Hafif beton	5
2.3.2 Tarihsel gelişim süreci.....	6
2.3.3 Hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	7
2.3.4 Hafif betonların sınıflandırılması	10
2.3.5 Hafif betonun avantaj ve dezavantajları	11
3. MATERYAL ve METOT	13
3.1 Materyal.....	13
3.1.1 İzmir-Alaçatı taşı agregası	13
3.1.2 Çimento.....	16
3.1.3 Karma suyu	16
3.2 Metot.....	17
3.2.1 Hafif beton karışımlarının hazırlanması	18
3.2.2 Agregası deneyleri	19
3.2.3 Taze beton deneyleri.....	20
3.2.4 Sertleşmiş beton deneyleri	23
3.2.5 Hafif beton örneklerinin içsel gerilme değerlerinin belirlenmesi	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	27
4.1 Taze Beton Deney Analizi	27
4.2 Sertleşmiş Beton Numunelerinin Özellikleri	28
4.2.1 DKY beton örneklerinin basınç dayanım analizi	28
4.2.2 DKY beton örneklerinin yarmada çekme dayanım analizi.....	29
4.3 Basınç Dayanımı ve Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi	30
4.4 Basınç Dayanımı Agregası İncelik Oranı İlişkisi	31
4.5 Basınç Dayanımı DKY Birim Hacim Ağırlık İlişkisi	32

4.6 Basınç Dayanımı Yarmada Çekme Dayanımı Oranı İlişkisi	33
4.7 Hafif Beton Tasarımlarının Dayanım Sınıflandırılması.....	34
4.8 Hafif Beton Tasarımlarının İçsel Gerilme Analizi.....	35
4.8.1 Mohr daireleri analizi	36
4.8.2 Kırılma açısı analizi	41
4.8.3 İçsel sürtünme açısı analizi.....	42
4.8.4 Normal gerilme analizi.....	43
4.8.5 Kohezyon analizi	44
4.8.6 Kayma gerilmesi analizi.....	45
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	53



KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACI	: American Concrete Institute
AŞ	: Anonim Şirket
BD	: Basınç Dayanım Değeri
BHA	: Birim Hacim Ağırlık
BR	: Birim
cm	: Santimetre
cm²	: Santimetrekare
cm³	: Santimetreküp
DIN	: Deutsches Institut für Normung
dak.	: Dakika
DKY	: Doygun Kuru Yüzey
dm³	: Desimetreküp
EN	: European Norm
FCK	: Beton Karakteristik Basınç Dayanımı
g	: Gram
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
kg	: Kilogram
LC	: Lightweight Concrete
Ltd.	: Limitet
m³	: Metreküp
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
N	: Newton
PÇ	: Portland Çimentosu
Şti.	: Şirket
Tic.	: Ticaret
TS	: Türk Standartları
UK	: United Kingdom
vb.	: Ve Benzeri
YÇD	: Yarma Çekme Dayanım Değeri



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Hafif betonun birim hacim ağırlık sınıflandırması.	7
Tablo 2.2 : Hafif betonun basınç dayanımı sınıflandırması.	9
Tablo 3.1 : Alaçatı taşı petrografik analiz değerleri	16
Tablo 3.2 : CEM I 42.5R sınıfı çimento özellikleri.	16
Tablo 3.3 : Yapılan agrega ve beton deneyleri.	17
Tablo 3.4 : Hafif beton tasarım bileşenleri ve bazı özellikleri.	19
Tablo 3.5 : Agregaların DKY özgül ağırlık ve su emme değerleri.....	20
Tablo 4.1 : Taze beton çökme (slump) testi bulguları.	27
Tablo 4.2 : Hafif beton tasarımlarının içsel gerilme değerleri.	36
Tablo 4.3 : Hafif beton tasarım örneklerinin yük taşıma kapasiteleri.....	44



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hafif agrega potansiyelinin bulunduğu önemli alanlar.	5
Şekil 2.2 : Pantheon tapınağı.....	6
Şekil 2.3 : Hafif beton yoğunluk ve dayanım sınıflandırması.	10
Şekil 3.1 : Üç farklı tane boyut aralığındaki agregaların görünümü.	14
Şekil 3.2 : İzmir-Alaçatı taşı kayaç yapısına ilişkin mikroskopik görünümler.	15
Şekil 3.3 : Deneysel çalışmaların akış şeması.....	18
Şekil 3.4 : Agregaların DKY özgül ağırlık ve su emme tayini analizi.....	20
Şekil 3.5 : Beton kalıplarının doldurulması.	21
Şekil 3.6 : Slump (çökme) hunisine betonun yerleştirilme ve doldurulma aşamaları.	22
Şekil 3.7 : Çökme değerinin ölçülmesi.....	23
Şekil 3.8 : Otomatik pres ve küp numune basınç kırılması.	24
Şekil 3.9 : Silindir numune görseli ve yarmada çekme deneyi uygulama prensibi. ...	25
Şekil 3.10 : Mohr daireleri ve kırılma diyagramları.....	26
Şekil 4.1 : DKY beton örneklerinin basınç dayanımı bulguları.....	28
Şekil 4.2 : DKY beton örneklerinin yarmada çekme dayanım bulguları.	29
Şekil 4.3 : Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	30
Şekil 4.4 : Basınç dayanımı agrega incelik oranı ilişkisi.	31
Şekil 4.5 : Basınç dayanımı DKY birim hacim ağırlık ilişkisi.	32
Şekil 4.6 : Basınç dayanımı yarmada çekme dayanımı oranı grafiği.	33
Şekil 4.7 : Hafif beton tasarımlarının dayanım sınıflandırılması.....	34
Şekil 4.8 : K280T50 tasarımına ait Mohr daireleri.	37
Şekil 4.9 : K280T55 tasarımına ait Mohr daireleri.	37
Şekil 4.10 : K280T60 tasarımına ait Mohr daireleri.	38
Şekil 4.11 : K350T50 tasarımına ait Mohr daireleri.	38
Şekil 4.12 : K350T55 tasarımına ait Mohr daireleri.	39
Şekil 4.13 : K350T60 tasarımına ait Mohr daireleri.	39
Şekil 4.14 : K400T50 tasarımına ait Mohr daireleri.	40
Şekil 4.15 : K400T55 tasarımına ait Mohr daireleri.	40
Şekil 4.16 : K400T60 tasarımına ait Mohr daireleri.	41
Şekil 4.17 : Hafif beton örneklerine ait kırılma açısı değerlerinin kıyaslanması.	42
Şekil 4.18 : Hafif beton örneklerine ait içsel sürtünme açısı değerlerinin kıyaslanması.	43
Şekil 4.19 : Hafif beton örneklerine ait kohezyon değerlerinin kıyaslanması.	45
Şekil 4.20 : Hafif beton örneklerine ait kayma gerilmesi değerlerinin kıyaslanması.	46



İZMİR-ALAÇATI TAŞI AGREGALI HAFİF BETON ÖZELLİKLERİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Günümüzde yüksek katlı yapı inşasının yaygınlaşması ile yapılarda ölü yüklerin ve deprem yüklerinin azaltılması konusu gündeme gelmektedir. Yapılarda hafif beton kullanımı ve teknik değerlerinin irdelenmesi hususu inşaat endüstrisi açısından büyük önem taşımaktadır. Hafif beton üretiminde en çok tercih edilen yöntemler düşünüldüğünde, farklı orijinli hafif agrega kullanımları göze çarpmaktadır. Bu tez çalışmasında, İzmir-Alaçatı bölgesinde yer alan volkanik esaslı hafif agrega olarak değerlendirilebilecek kayalık oluşumlarının, inşaat sektöründe hafif beton üretimlerinde kullanılabilirliği, bir seri deneysel analizlerle irdelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, 0-4 mm 4-8 mm ve 8-16 mm tane boyutunda olmak üzere İzmir-Alaçatı taşı agregası, CEM I 42.5 R Portland çimentosu ve şebeke suyu kullanılarak bir seri hafif beton numuneleri oluşturulmuştur. Agregalar tane boyutu itibariyle kendi içerisinde ve çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek 9 farklı oranda hafif beton karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımlara ait test örneklerinin 7, 14 ve 28 gün kür süresine ait basınç dayanım değerleri, birim hacim ağırlık değerleri ayrıca, 14 ve 28 gün kür süresine ait yarmada çekme dayanım değerleri belirlenmiştir. Yapılan tasarımlarda TS EN 206:2013+A1'de belirtilen LC8/9 ve LC12/13 hafif beton sınıfı dayanım özelliklerini sağlayabilecek değerlerin elde edildiği, LC16/18 sınıfı değerlerine ise çok yakın sonuçların bulunduğu görülmüştür.



EVALUATION OF İZMİR-ALAÇATI STONE AGGREGATED LIGHTWEIGHT CONCRETE PROPERTIES

ABSTRACT

Nowadays, with the expansion of the construction of high-rise buildings, the issue of reducing dead loads and earthquake loads in the buildings is on the agenda. The use of lightweight concrete in buildings and the evaluation of technical values have great importance for the construction industry. Considering the most preferred methods in lightweight concrete production, the use of lightweight aggregate with different origin stand out. In this thesis, the use of rock formations which can be used as volcanic based lightweight aggregate in İzmir-Alaçatı region in lightweight concrete production in the construction sector were examined with a series of experimental analyzes. In this study, the series of lightweight concrete samples were formed using İzmir Alaçatı stone aggregates in the grain size of 0-4 mm, 4-8 mm and 8-16 mm and Portland Cement (CEM I 42,5R) with tap water. 9 different proportions of lightweight concrete mixtures were prepared by changing the aggregates as grain size in itself and by weight with cement. The compressive strength and the unit weight values for the 7, 14 and 28 days of curing time of the test samples, as well as the tensile strength values of the curing period of 14 and 28 days were determined. In the designs, it was seen that the values that can provide the LC8/9 and LC12/13 lightweight concrete class strength properties specified in TS EN 206: 2013+A1 were obtained and the results were very close to the LC16/18 class values.

1. GİRİŞ

Hafif beton kullanımı tarih öncesi devirlerden günümüze kadar olan süreçte önemini günden güne artırmaktadır. Bundan yaklaşık 2000 yıl evvel Avrupa'da Roma döneminde önemli eserlerde kullanımına rastlanmıştır. Bilinen bu eserlerdeki kullanımların genellikle pomza, volkanik cüruf ve tüfler gibi volkanik kökenli malzemelerden oluştuğu bilinmektedir. Bu malzemelerin farklı formlarının agrega olarak kullanıldığı yapılan incelemelerde görülebilmektedir. Günümüzde ise ilk kullanımlar 20. yüzyıl başlarında ve daha sonrasında yaygınlaşarak özellikle I.Dünya Savaşı dönemlerinde öne çıkmıştır. Halen kullanımları günden güne artmakta olan hafif betonların ülkemizde de inşaat endüstrisinde kullanımı günden güne yaygınlaşmaktadır.

İnşaat endüstrisinin gelişmesi ve artan konut ihtiyacıyla beraber yüksek katlı yapıların inşası günümüzde hız kazanmıştır. Yüksek yapıların tasarımında ve hayata geçirilmesinde birçok problemle karşılaşmaktadır. Bunlardan en önemlisi bina ağırlığının çok fazla olması ve buna bağlı oluşabilecek yapısal risklerdir. Söz konusu problemlerin başında, yapılardaki beton ağırlıklarının azaltılması gelmektedir. Geçmişten bugüne yapılan çalışmalarda beton ağırlığını azaltmanın en iyi yolunun kullanılan agrega ağırlığını azaltmak olduğu sonucuna varılmıştır. Böylelikle beton içerisinde hafif agrega kullanımının yaygınlaşmasının ve farklı türde agregaların kullanımının önü açılmıştır. Beton içerisinde kullanılan hafif agregalar yapıların ölü yüklerini azalttığı gibi, ısısal performansını da iyileştirebilmektedir [1].

Ülkemiz hammadde kaynakları açısından özel bir konuma sahiptir. Doğal hafif agregalar özelinde düşünüldüğünde önemli rezervlere sahip çeşitli bölgelerimiz, yapı elemanlarının gelişiminde yeterli ilgiyi görememiştir. Bu nedenle ülkemizde bulunan doğal hafif agregaların inşaat endüstrisine kazandırılması büyük önem arz etmektedir. Genellikle volkanik hareketler sonucu oluşmuş gözenekli bir yapıya sahip ve geniş kütleli yayılımlar gösteren endüstriyel hammaddeler doğal hafif agrega olarak değerlendirilmektedir. Pomza, perlit, diatomit, vermikülit, puzolanlar, volkanik cüruf ve tüfler bu kapsam içerisinde değerlendirilebilecek güncel

oluşumları bilinen agrega türleri olup, perlit ve vermikülit geliştirilerek diğer agregalar ise herhangi bir işleme tabi olmadan doğada oluşmuş şekli ile kullanılmaktadır [2]. Günümüzde hafif agrega kullanılarak elde edilmiş hafif beton ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. Hafif beton tasarımlarında hafif agreganın türü, gözeneklilik yapısı ve maksimum tane çapı gibi parametreler, betonun birim hacim ağırlığı (BHA) ile doğrudan ilişkilendirilmektedir [3]. Bu nedenle hafif beton tasarımlarında kullanılacak hafif agregaların detaylı analiz edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde bölgesel bazda düşünüldüğünde doğal hafif agrega olarak hafif beton üretimlerinde değerlendirilebilecek malzemelerden biri de İzmir-Alaçatı bölgesinde kesme taş olarak kullanımı bilinen *Alaçatı (Alapietra)* taşıdır. Bu taşın ocaktan çıkarılmasından fabrikada işlenmesine kadar geçen süreçte önemli miktarda atık olarak düşünülebilecek farklı tane boyutlardaki formları oluşmaktadır. Fakat bu malzemenin endüstriyel hammadde olarak kullanımı henüz yaygın görülememektedir [4].

Bu çalışmada, hafif beton agregası olarak İzmir-Alaçatı taşının hafif beton üretiminde değerlendirilmesine yönelik bir dizi deneysel araştırmalar yapılmış olup, bulgular analiz edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Hafif Agregalar

TS EN 206:2013+A1'de TS EN 1097-6'ya uygun olarak tayin edilen ve etüv kurusu tane yoğunluğu $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$ veya TS EN 1097-3'e uygun tayin edilen etüv kurusu yığın (gevşek) yoğunluğu $\leq 1200 \text{ kg/m}^3$ olan mineral esaslı agregalar hafif agrega olarak kabul edilmektedir [5]. Etüv kurusu tane yoğunluğunun tayini tel sepet metodu ve piknometre metodu olarak üzere iki farklı yöntemle yapılabilmektedir. Anlaşmazlık durumu söz konusu olursa piknometre metodu referans olarak kabul edilmektedir [6]. Etüv kurusu yığın (gevşek) yoğunluk, herhangi bir ölçü kabı içerisine yerleştirilmiş agrega kütlelerinin ölçü kabı hacmine oranıyla elde edilen değer olarak ifade edilmektedir [7].

Hafif agregalar doğal kaynak orijinli veya suni şekillerde elde edilmiş olabilmektedir. Bu doğal kaynaklar volkanik materyallerdir. İnsan yapımı veya sentetik (yapay) agregalar olarak adlandırılan agregalar ise fabrikalarda genellikle ısıtma işlemleriyle üretilmektedir [8].

2.1.1 Doğal hafif agregalar

Volkanik orijinli agregalar:

Hava ve gaz içeren lav eriyikleri soğuduğunda süngerimsi gözenekli bir kütle haline gelmektedir. Başka bir deyişle, gözenekli ve reaktif olan hafif bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Pomza, volkanik cüruf, perlit, diatomit, vermikülit, tuf ve tüfitler örnek olarak verilebilecek önemli hammaddeler arasında yer almaktadır. Bu doğal hammaddeler kırma, eleme, öğütme gibi mekanik işlemlerden geçirilerek agrega haline dönüştürülebilmektedir [8]. İzmir-Alaçatı taşı volkanik kökenli olması ve gözenekli yapısı sebebiyle volkanik orijinli agregalar sınıfında yer alabilecek bir agrega türüdür.

Organik agregalar:

Tarımsal atıkların yapı malzemelerinin üretiminde agrega olarak kullanılması birtakım pratik ve ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Palmiye yağı kabukları, fındık kabukları, pirinç kabukları gibi tarımsal atık ürünleri organik agrega olarak

değerlendirilebilecek ürünler arasındadır. Örneğin Malezya, Endonezya, Nijerya gibi ülkelerde yüksek miktarda palmiye yağı üretimi yapılmaktadır. Bu üretimler sonucunda hafif agrega olarak değerlendirilebilecek çok sayıda palmiye kabuğu ortaya çıkmaktadır. Palmiye kabukları oldukça serttir ve içerisindeki yağı serbest bırakabilmek için uygulanan işlemler sonucunda ezilmiş parçalar ortaya çıkmaktadır. Palmiye kabuğunun 620 kg/m^3 yoğunluğa ve $1,25 \text{ g/cm}^3$ özgül ağırlığa sahip olduğu bilinmektedir [8].

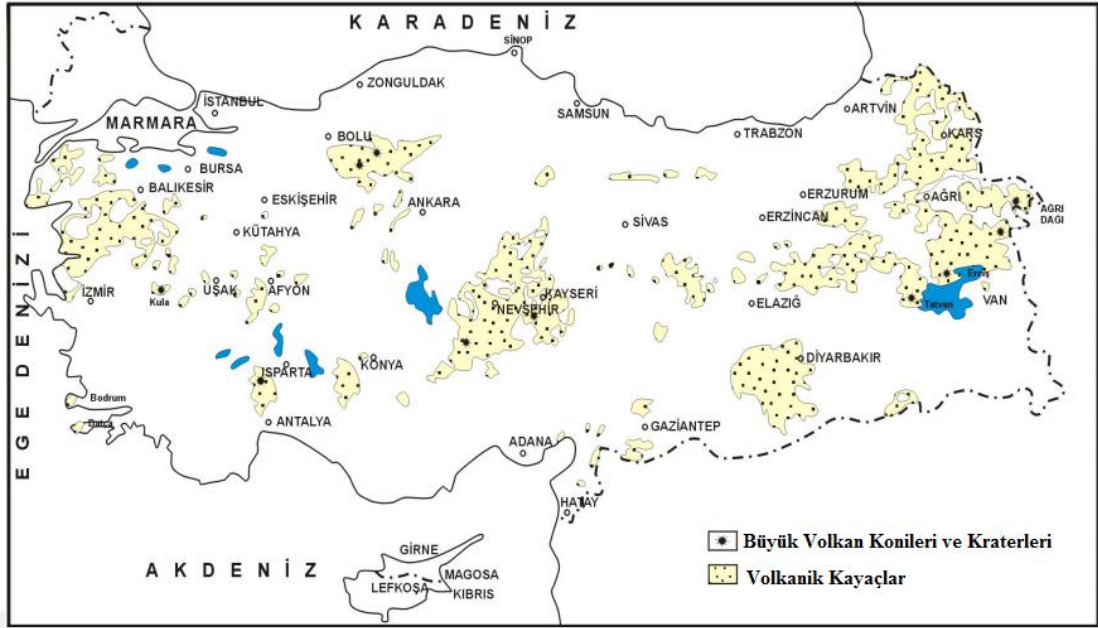
2.1.2 Yapay (sentetik) hafif agregalar

Yapay hafif agregalar geniş özelliklere sahip malzemelerin ısı işlem görmesiyle elde edilmektedir. Bu malzemeler üç gruba ayrılmaktadır:

- **Doğal orijinli işlenmiş yapay hafif agregalar:** Yarı yapay olarak da adlandırılabilir, doğal formunun belirli sıcaklarda ısı işleme tabi tutulmasından sonra oluşan hafif agregalardır. Genleşmiş perlit, açılmış vermikülit, genleşmiş kil, kalsine diatomit, genleşmiş şeyl, genleşmiş şist, genleşmiş kil, genleşmiş arduvaz ve genleşmiş obsidiyen bilinen önemli hafif agregalardır.
- **Endüstriyel orijinli hafif agregalar:** Endüstriyel üretimler sonucu atık olarak oluşan hafif agrega olarak değerlendirilebilecek malzemelerdir. Yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül en çok kullanılan agregalar içerisinde yer almaktadır.
- **Endüstriyel ürün atıklarının işlenmesiyle üretilmiş hafif agregalar:** Genleştirilmiş yüksek fırın cürufuları veya kızdırılmış uçucu kül gibi [8].

2.2 Türkiye'nin Hafif Agrega Potansiyeli ve Kullanım Alanları

Ülkemiz coğrafyası yeraltı kaynakları açısından önemli bir konuma sahiptir. Hafif agrega olarak değerlendirebilecek çok zengin volkanik oluşumlara sahip birçok bölgemiz bulunmaktadır. Ancak hammadde kullanımları ve endüstriyel olarak değerlendirilmeleri bağlamında yeterli ilgiyi görememiştir. Son 15 yılda yapılan çalışmalar ile bazı ham maddelerin endüstriyel anlamda kullanımı artsa da farklı sektörlere yayılımının yeterli seviyeye ulaşamadığı görülmektedir. Hafif agrega olarak değerlendirilebilecek bazı önemli hammaddelere ilişkin coğrafi dağılımlar Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Hafif agrega potansiyelinin bulunduğu önemli alanlar [9].

Şekil 2.1’de bölgesel olarak gösterilen önemli kayaç türleri arasında pomza, diatomit, vermükilit, volkanik cüruflar, perlit, pirofillit, tuf ve tüfitler bulunmaktadır. Bu endüstriyel hammaddelerin bazı kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir;

- **İnşaat sektörü:** Hafif yapı elemanları üretimi, çatı ve dekoratif kaplama elemanları, Hafif hazır sıva ve harç üretimi, hafif beton üretimi, izolasyon dolgusu
- **Otomotiv sektörü:** Araçların akustik ve ısı izolasyonunun sağlanmasında,
- **Kimya sektörü:** Boya vb. kimyasal ürünlerde katkı maddesi olarak,
- **Ziraat sektörü:** Özellikle seracılıkta bitki köklerinde gübre olarak,
- **Gıda sektörü:** Çeşitli gıdaların işlenmesinde kullanılmaktadır.

Ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte savunma ve uzay sanayide de kullanımları üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

2.3 Hafif Betonlar

2.3.1 Hafif beton

Beton içerisinde yoğunluğu normal agregaya göre daha düşük olan agregaların kullanılması veya çeşitli yollarla boşluklar oluşturulmasıyla beton yoğunluğu azaltılabilmektedir. Bu yöntemlerden herhangi biri ile oluşturulmuş yoğunluğu 2000 kg/m³ten az olan betonlar, hafif beton olarak ifade edilmektedir. Diğer bir deyişle

etüv kurusu haldeki birim hacim ağırlığı 800 ile 2000 kg/m³ arasında değişen betonlar, hafif beton olarak tanımlanmaktadır [5].

2.3.2 Tarihsel gelişim süreci

Gözenekli yapısı gereği hafifliği ve dış ortam koşullarına dayanıklılığı nedeniyle volkanik kökenli hafif agregaların kullanımının tarihte antik yunan ve roma dönemlerine kadar uzandığı, birçok sanat yapıları ve konutların inşasında kullanımına rastlandığı bilinmektedir [10]. Romada bulunan Pantheon Tapınağı örnek olarak verilebilecek önemli sanat yapılarından (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Pantheon tapınağı [11].

20.yüzyılda yük gemilerinin inşasında hafif agregadan mamül betonların kullanımı görülmektedir. 1917-1920 yılları arasında üretilen donatılı beton gemilerde 1760 kg/m³ yoğunluk ve 38 MPa basınç dayanımı elde edilirken, aynı yıllar içerisinde normal agregalı yapılarda beton basınç dayanımının 17 MPa seviyesinde olduğu bilinmektedir [12]. Savaş koşullarının gereği sonucu dünyada çelik üretiminin azalması, ABD'nin de donatılı hafif betondan üretilmiş ticari gemilere yönelmesinin önünü açmıştır. I.Dünya savaşı devam ederken, J.Hayde'nin yapmış olduğu

çalışmalar sonucu 1918 yılında geliştirilmiş şist agregasının patentini alarak doğal hafif agregalardan yapay hafif agregalara geçişin önü açılmıştır. ABD’de 1920 Polonya ve Sovyetler Birliği’nde 1960’lı yıllardan itibaren bir çok köprü tabliyesinde yapay hafif agregalı beton uygulanmış olup, içsel kür özellikleri sebebiyle üstün aşınma direnci, donma direnci ve klor dayanımı göstermiştir [13]. Beton birim hacim ağırlıkları 1800-2000 kg/m³ aralığında yer almakla birlikte, 90’lı yıllardan itibaren beton basınç dayanım değerleri 55-70 Mpa aralığında yer almıştır [14].

2.3.3 Hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri

2.3.3.1 Birim hacim ağırlık

Hafif beton yoğunlukları büyük ölçüde içerisinde bulunan hafif agrega türlerinin belirlediği bilinmektedir. Fakat tasarımdaki su / bağlayıcı oranları, kimyasal ve mineral katkıları, betonun yerleştirme ve sıkıştırma yöntemleri ve kür koşulları da birim hacim ağırlık değerini etkileyebilmektedir [15].

TS EN 206:2013+A1’e göre hafif betonların birim hacim ağırlıkları D 1,0 ile D 2,0 aralığında sınıflandırılmıştır. Tablo 2.1’de bu sınıf aralıkları verilmiş olup, hafif beton birim hacim ağırlıklarının 800 kg/m³ ile 2000 kg/m³ arasında olması gerektiği öngörülmüştür.

Tablo 2.1 : Hafif betonun birim hacim ağırlık sınıflandırması [5].

Yoğunluk sınıfı	D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
Yoğunluk aralığı (kg/m ³)	≥800 ve ≤1000	≥1000 ve ≤1200	≥1200 ve ≤1400	≥1400 ve ≤1600	≥1600 ve ≤1800	≥1800 ve ≤2000

2.3.3.2 İşlenebilirlik

Hafif betonlar normal betonlara göre işlenebilirlik açısından farklı özelliklere sahiptirler. Hafif betonların çökme (slump) değerleri incelendiğinde aynı çökme değerine sahip normal betona kıyasla daha işlenebilir olduğu bilinmektedir. Bunun temelinde betonun yerleşmesini sağlayan yer çekimi kuvvetinin beton hafifleştikçe azalması ve buna bağlı olarak daha düşük çökme değerleri elde edilmesidir [16]. Hafif betonların normal beton gibi yüksek çökme değerleri ile kullanılması segregasyona neden olabileceğinden önerilmemektedir. Bu nedenle bu yüksek çökme

değeri 125 mm ile sınırlandırılmış olup, 75 mm çökme değerine sahip bir hafif betonun iyi bir işlenebilirlik özelliği sergileyebileceği belirtilmiştir [17].

2.3.3.3 Dayanım

Hafif betonların karakteristik dayanımlarını genellikle tasarımda kullanılan hafif agrega türlerinin yoğunluğu ile ilişkilendirilmektedir. Diğer bir deyişle, agrega yoğunluğunun artırılması ile hafif beton dayanımında artış sağlanabilir [18]. Bununla birlikte çimento dozajı, su / çimento oranı, agrega gradasyonu, kimyasal ve mineral katkıları da dayanımı etkileyebilmektedir. Fakat agrega dayanımı ile agrega kullanılarak elde edilmiş hafif beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki kurmak söz konusu olmamaktadır [16].

Hafif agrega basınç dayanım değeri genellikle hafif beton harcı basınç dayanım değerinden düşük olduğundan, yükün çimento harcı tarafından taşındığı, hafif agregalar ile aktarıldığı bilinmektedir [19]. Bu nedenle kırılmalar beton yüzeyine uygulanan yüke paralel olacak şekilde düz bir çizgi boyunca oluşmaktadır.

Normal agregalı betonlarda ise agregaların basınç dayanımı, sertleşmiş beton basınç dayanımından oldukça yüksektir. Bu sayede yük çimento harcı ile aktararak agregalar tarafından taşınmaktadır. Dolayısıyla basınç yükü altındaki normal agregalı bir betonda oluşan gerilmeler köşelerden orta kısma doğru görülmektedir. Yarmada çekme dayanımında ise kırılmaların agrega taneleri boyunca gerçekleştiği durumlarda agrega-matris aderansının güçlü olduğu düşünülmektedir [16].

TS EN 206:2013+A1'e göre sınıflandırmada kenarları 150 mm olan küp numunenin 28 gün kür süresi sonunda karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}, küp) veya çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindir numunenin 28 gün kür süresi sonunda meydana gelen karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}, silindir) kullanılabilir. TS EN 206:2013+A1'de belirtilen hafif beton dayanım sınıflandırması Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 : Hafif betonun basınç dayanımı sınıflandırması [4].

Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı MPa	En düşük karakteristik küp dayanımı MPa
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

2.3.3.4 Su emme

Hafif betonlarda kullanılan doğal hafif agregalardaki gözeneklilik, su emme açısından büyük önem taşımaktadır. Yüksek gözeneklilik agreganın su emme ihtiyacını artıracığından hafif beton tasarımlarının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle hafif beton içerisinde kullanılacak hafif agregaların su emme kapasitesinin düşük olması tasarımda ciddi yarar sağlamaktadır. Fakat doğal hafif agregaların genellikle gözeneklilik oranları oldukça yüksek olmaktadır. Örneğin yüksek gözeneklilik oranına sahip diatomitin su emme değerinin kendi ağırlığı kadar olduğu bilinmektedir [20]. Bu kadar yüksek su emme değeri tasarımda elde edilecek hafif betonların dayanımlarını doğrudan olumsuz etkileyeceğinden, üretilecek hafif betonun sınıfına uygun fiziksel ve mekanik özellik sergileyen hafif agrega türlerinin tercih edilmesi, sonuçların verimliliği açısından önem teşkil etmektedir. Bu bağlamda, hafif beton tasarımlarında kullanılacak hafif agrega türlerinin su emme açısından detaylı irdelenmesi gerekmektedir.

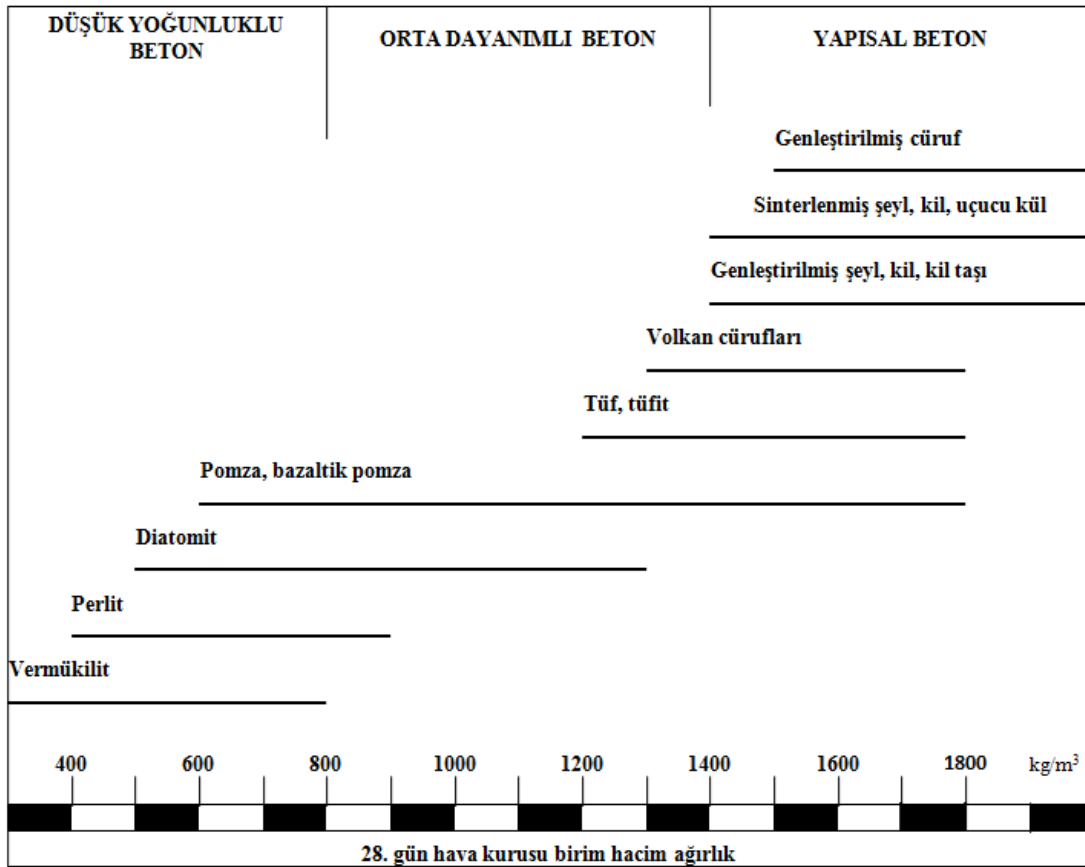
2.3.3.5 Agregas matris aderansı

Hafif agregaların yapısı gereği gözenekli ve pürüzlü olması çimento hamuru ile çok iyi bir aderans oluşturmasını sağlamaktadır. Bu sayede çimento hamurunun agrega

içerisindeki boşluklara kadar girmesiyle geleneksel betona kıyasla ara yüzeyin çok daha güçlü hale gelmesini sağlamaktadır. Agrega tarafından emilen suyun bir kısmının kapiler boşluklarla dışarı aktarılması, beton içerisinde hidrate olmamış çimento taneciklerinin hidratasyona uğramasını ve bu sayede agrega-matris bağının daha da güçlenmesine olanak vermektedir [17].

2.3.4 Hafif betonların sınıflandırılması

Hafif betonlar, içerisinde kullanılan agrega türlerine göre birim hacim ağırlık ve dayanım özellikleri bakımından geniş bir aralıkta yer almaktadır. Hafif betonlar dayanım ve birim hacim ağırlık özelliklerine göre Şekil 2.3'deki gibi sınıflandırılabilir. Şekil 2.3' irdelendiğinde vermikülit, perlit, diatomit gibi çok düşük yoğunluklara sahip agregalar kullanılarak oluşturulabilecek hafif betonların yapısal nitelikte olmayacağı görülmektedir. Yapısal hafif beton oluşturabilmek için daha yüksek yoğunluk ve agrega dayanımına sahip doğal hafif agregaların (pomza, volkan cürufları, tüfler vb.) veya yapay agrega (genleştirilmiş kil, cüruf, şeyl vb.) kullanımlarının gerektiği görülmektedir.



Şekil 2.3 : Hafif beton yoğunluk ve dayanım sınıflandırması.

2.3.4.1 Düşük yoğunluklu beton

Genellikle ısı yalıtımı veya hafif dolgu betonu olarak kullanılan bu betonların ısıl iletkenlik katsayıları oldukça düşüktür. Hava kurusu birim hacim ağırlıkları nadiren 800 kg/m³ü aşabilmektedir. Basınç dayanım değerleri 0,7-7 MPa arasında değişebilmektedir [17].

2.3.4.2 Orta dayanımlı beton

Yarı taşıyıcı olarak da adlandırılabilen bu betonların basınç dayanım değerleri 7-17 MPa arasında değişkenlik göstermektedir [17]. Yapısal kabul edebilecek seviyede dayanım özellikleri sergilediği durumlar da söz konusu olabilen bu sınıftaki betonların, ısısal performanslarının normal betonlara göre oldukça iyi seviyede olduğu bilinmektedir.

2.3.4.3 Yapısal hafif beton

Genellikle scoria, pomza, genişletilmiş kil, şeyl, cüruf gibi dayanımları nispeten daha yüksek agregalarla tasarlanan betonlardır. ACI 213R-14'de yapısal hafif betonları 28 günlük basınç dayanımları minimum 17 MPa olan ve yoğunluğu 1350-1900 kg/m³ arasında değişen tamamen hafif agrega veya hafif agregayla normal agreganın birlikte kullanılması sonucu üretilmiş betonlar olarak tanımlanmaktadır [17]. Üretimde kullanılan söz konusu agregalar ile 35-42 MPa arasında basınç dayanımları elde edilebildiği görülebilmektedir. Bu betonların ısısal performansları da orta dayanımlı ve düşük yoğunluklu betona göre daha düşük olmasına karşın, normal betona kıyasla daha iyi performans sergileyebilmektedir.

2.3.5 Hafif betonun avantaj ve dezavantajları

Hafif betonlar beton teknolojisine ve gelişimine bir çok avantajlar sunduğu gibi birtakım dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Söz konusu bu avantaj ve dezavantajlar özetle şu şekilde sıralanabilir;

Hafif betonun avantajları:

- Yapı ölü yüklerinin ve düşey kuvvetlerinin azalması sonucu yapıya etkiyen deprem kuvvetleri azalmaktadır. Bu sebeple yapının deprem performansı iyileşmektedir.

- Hafif beton birim ağırlığının daha düşük olması, yapı toplam ağırlığının azalmasına ve tasarımda daha düşük kesitli yapı elemanları kullanılmasına olanak vermektedir.
- Yapı ağırlığının azalmasıyla birlikte düşey ve yanal kuvvetlerinin düşmesi, taşıyıcı elemanların donatı ihtiyacını azaltabilmeyi olağan hale getirebilmektedir.
- Daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olduklarından, yapılarda ısısızal yalıtım değerlerinde iyileşme görülebilmektedir.
- Hafif olması taşınma ve yerleştirme işçiliğini de kolaylaştırmaktadır.
- İskele ve kalıp maliyetlerinde azalmalar söz konusu olabilmektedir.
- Yangına dayanıklılık açısından normal betona kıyasla daha iyi değerler sunabilmektedir.

Hafif betonun dezavantajları:

- Düşük basınç dayanımı ve aşınma direncine sahip olabilmektedir.
- Su emme, sünme, rötre değerleri normal betondan daha yüksek olabilmektedir.
- Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında daha nitelikli işçilik gerektirmektedir.
- Hafif agrega bulmak ve temin etmek daha maliyetli olabilmektedir.
- Daha fazla çimento gereksinimleri nedeniyle beton maliyetlerinde artış söz konusu olabilmektedir [15].

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

Bu tez çalışması kapsamında hafif beton örneklerinin hazırlanması amacıyla İzmir-Alaçatı taşı agregası, CEM I 42.5R sınıfı çimento ve şebeke suyu başlıca materyaller olarak kullanılmıştır. Bu malzemeler aşağıdaki alt bölümlerde özetle tanımlanmıştır.

3.1.1 İzmir-Alaçatı taşı agregası

“*Alaepietra Taşı*” olarak da bilinen İzmir-Alaçatı taşı, gözenekli ve kırık beyaz renkte olup içerisinde bir miktar bazalt çakılları bulunmaktadır. Bölgede uzun zamandır kullanılan ve bölgenin mimarisi haline gelen Alaçatı Taşı konutlarda kaplama malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Ocaktan çıkarılmış kesme taş haliyle sert karakteristikte olmayan Alaçatı taşı, zaman içinde hava, güneş ve rüzgâr etkisiyle daha sert ve daha dayanıklı bir form kazanarak doğal bir yapı malzemesi haline gelebilmektedir [4].

Bölgenin kayaç yapısı tüf, tüfit, andezit, aglomera ve seyrek rastlanan bazaltlardan oluştuğu bilinmektedir. Alaçatı ve civarında geniş yayılımlar sergileyen volkanik kayaçlar tüf, tüfit, aglomera, andezit ve seyrek rastlanan bazaltlardır. Beyaz ve krem tonlarında değişiklik gösteren tüfler içerlerinde bazalt ve andezit bloklarını içermektedirler. Tüfitler volkanik-sedimenter özellik göstererek yer yer belirgin katmanlanma şeklinde bulunmaktadır [4]. Bu katmanlanmalar tortul kayaçlar ile volkanik kayaçların ardışık yerleştikleri geçiş noktalarında daha belirgin olarak görülmektedir. Bölgedeki kayaç örneklerinde yapılmış inceleme bulgularına göre, içerisinde yüksek miktarda pomza kırıntlarına rastlandığından, Alaçatı taşının pomza bileşenli tüf veya tüfit agrega olarak tanımlanabileceği görülmüştür [21].

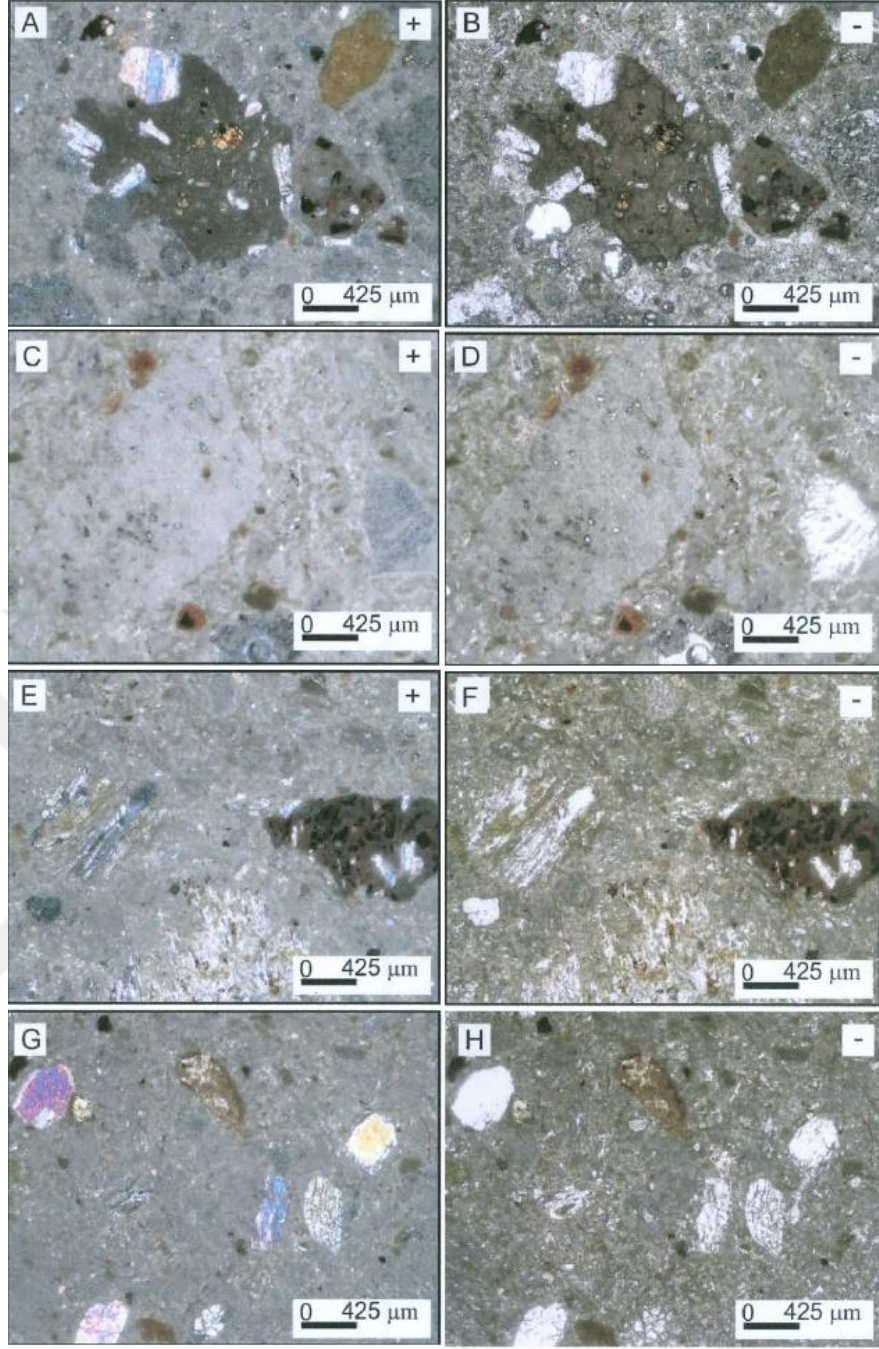
Alaçatı taşı agregaları İzmir-Alaçatı Akçakaya Tepe mevkiinde bulunan işletmesi Aydoğdu Tic. AŞ’ne ait taş ocağından temin edilmiştir. İşletme içerisinde yığın halde bulunan agregaların temiz kısımlarından ve farklı bölgelerinden rastgele olacak şekilde çuvallanıp deney yapılacak ortamda depolanmıştır. Temin edilen agregaların tane boyutları genellikle 32 mm’den küçük olup, beton tasarımında kullanılacak tane

boyutlarına göre sırasıyla 4 mm, 8 mm ve 16 mm kare açıklıklı eleklerden elenerek 3 farklı tane boyut aralığına indirgenmiştir. Boyutlandırılmış bu agregaların etüv kurusu yığın (boşluklu) birim hacim ağırlıkları ölçülmüştür. Bu agregalara ait etüv kurusu yığın birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, ince agrega (0-4 mm) için ortalama 1096 kg/m³, orta agrega (4-8 mm) için ortalama 950 kg/m³ ve iri agrega (8-16 mm) için ise ortalama 926 kg/m³ olarak elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda İzmir-Alaçatı taşının hafif beton agregası olarak tasarımda kullanılabileceği görülmüştür. Tez çalışması kapsamında, 0-4 mm boyut aralığındaki agregalar “*ince agrega*”, 4-8 mm tane boyut aralığındakiler “*orta agrega*” ve 8-16 mm tane boyut aralığındakiler ise “*iri agrega*” olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Üç farklı tane boyut aralığındaki agregaların görünümü.

İzmir-Alaçatı taşının kayaç yapısına ait mikroskobik görüntüleri Şekil 3.2’de ve bazı petrografik analiz değerleri ise Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : İzmir-Alaçatı taşı kayaç yapısına ilişkin mikroskobik görünümler [22].

Şekil 3.2’de A ve B olarak adlandırılmış görsellerde okside olmuş bazaltik kaya kırıntısı ve riyoitik cam kırıntısı, C ve D’de pomza kırıntısı ve riyoitik kaya kırıntısı, E ve F’de pomza kırıntıları, kuvars kristal kırıntıları, okside olmuş bazaltik kaya kırıntısı, G ve H’de pomza kırıntıları, feldspat kristal kırıntıları, piroksen kristal kırıntıları ve mafik kaya kırıntıları görülebilmektedir [22].

Tablo 3.1 : Alaçatı taşı petrografik analiz değerleri [21].

Basınç Dayanımı	16,29 MPa
Birim Hacim Ağırlık	1370 kg/m ³
Özgül Ağırlık (DIN52102)	2,36 g/cm ³
Toplam Gözeneklilik	%42,06
Matris (ince kül-cam)	%15-20
Riyolit Lav -cam kırıntıları	%10
Bazalt lav	%5-10
Pomza kırıntıları	%60-70
Kuars-Feldspat	%3-5
Piroksen- Amfibol	%1-5

Tablo 3.1’de belirtilen değerler irdelendiğinde, İzmir-Alaçatı taşının kayaç formunun yüksek miktarda pomza kırıntısına ve gözenekliliğe sahip olduğu görülmektedir.

3.1.2 Çimento

Çalışma kapsamında TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42.5R Portland çimentosu kullanılmıştır [23]. Çimento Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayi AŞ’den temin edilmiş olup, fiziksel, kimyasal ve dayanıklılık özellikleri üretici firma beyanına göre Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 : CEM I 42.5R sınıfı çimento özellikleri.

Özellik	Kimyasal Özellikleri			BR
	Sonuç			
Kızdırma Kaybı	3,06	≤ 5,0		%
Çözünmeyen Kalıntı	0,53	≤ 5,0		%
Sülfat Muhtevası	3,44	≤ 4,0		%
Klorür Muhtevası (Cl)	0,007	≤ 0,1		%
Fiziksel Özellikleri				
Priz Başlama Süresi	140	≥60		dak.
Priz Bitiş Süresi	180	-		dak.
Özgül Ağırlık (yoğunluk)	3,1	-		g/cm ³
Özgül Yüzey Alanı	3518	-		cm ² /g
Hacim Genleşmesi	0,6	≤ 10		mm
Dayanıklılık Özellikleri				
Erken Dayanım	23,9	≥20		MPa
Standart Dayanım	50,1	≥42,5- ≤62,5		MPa

3.1.3 Karma suyu

Tüm karışımlarda deneyler boyunca karışım suyu olarak normal şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2 Metot

Bu çalışmada, İzmir-Alaçatı bölgesinde yer alan hafif agrega olarak değerlendirilebilecek Alaçatı taşının herhangi bir mineral veya kimyasal katkı kullanılmadan hazırlanmasıyla elde edilen farklı tasarımlara sahip hafif beton örnekleri özelliklerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda elde edilen verilerin, yapılacak diğer çalışmalara olan ilginin artırılmasına ve hafif beton endüstrisinin gelişimine katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

Bu çalışma, 3 farklı tane boyutundaki Alaçatı taşının kendi içerisinde ve çimento ile ağırlıkça belirli oranda yer değiştirilerek hazırlanmış hafif beton tasarımlarının başta agreganın özellikleri olmak üzere, hafif beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesini ve analiz bulgularının tartışılmasını kapsamaktadır.

Öncelikle Alaçatı taşı agregasının yığın kuru birim hacim ağırlıkları, doymun kuru yüzey özgül ağırlıkları ve su emme değerleri elde edilmiş olup, bu sonuçlar neticesinde farklı bileşen miktarlarına sahip 9 farklı kod verilerek hafif beton tasarımları oluşturulmuştur. Bu tasarımlara göre hazırlanan karışımlar otomatik bir karıştırıcı mikser yoluyla elde edilmiştir. Elde edilen numunelere taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır. Bulgular grafiksel olarak analiz edilerek tartışılmıştır. Çalışma kapsamında yapılmış olan deneyler özetle Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3 : Yapılan agrega ve beton deneyleri.

Agrega Deneyleri	Taze Beton Deneyleri	Sertleşmiş Beton Deneyleri
✓ Kuru yığın BHA	✓ Slump (çökme) testi	✓ DKY birim hacim ağırlık
✓ DKY özgül ağırlık		✓ Basınç dayanımı deneyi
✓ Su emme		✓ Yarmada çekme dayanımı deneyi

Çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar Şekil 3.3'de akış şeması olarak verilmiştir.



Şekil 3.3 : Deneysel çalışmaların akış şeması.

3.2.1 Hafif beton karışımlarının hazırlanması

Çalışma kapsamında nihai irdeleme ve değerlendirmesi yapılacak hafif beton karışımları hazırlanmadan önce, çalışma başlangıcında öncelikle 1 m³lük betonda kullanılması gereken malzeme miktarlarını belirlemek amacıyla bir dizi ön karışım tasarımları ve test örnekleri hazırlanmıştır. Bu tasarımlarda *çimento miktarı* ve *agrega incelik oranı* iki ana değişken olarak ele alınmıştır. Bu iki faktörü detaylı incelemek amacıyla, agregalar tane boyutu itibarıyla kendi içerisinde ve çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek 9 farklı oranda hafif beton karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımların tasarım bileşimleri 1 m³ beton için belirlenmiş olup, sayısal değerleri Tablo 3.4’de verilmiştir. Karışım hacim hesaplamalarında hava yüzdesi yaklaşık %2 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.4 : Hafif beton tasarım bileşenleri ve bazı özellikleri.

Karışım	Çimento Miktarı (kg/m ³)	0-4 mm Agrega (kg/m ³)	4-8 mm Agrega (kg/m ³)	8-16 mm Agrega (kg/m ³)	Su Emme Miktarı (kg/m ³)	Toplam Su Miktarı (kg/m ³)	Su/PÇ	Su/ PÇ (Efektif)
K280T50	280	562	169	393	208	348	1,243	0,5
K280T55	280	618	169	337	210	350	1,250	0,5
K280T60	280	675	169	285	211	351	1,254	0,5
K350T50	350	524	157	367	194	369	1,054	0,5
K350T55	350	576	157	315	195	370	1,057	0,5
K350T60	350	629	157	262	196	371	1,060	0,5
K400T50	400	490	147	343	181	381	0,953	0,5
K400T55	400	539	147	294	182	382	0,955	0,5
K400T60	400	588	147	245	183	383	0,958	0,5

Hafif beton karışımlarında K280-K350 kodlaması, çimento miktarlarının 280-350 doz aralığında olduğunu temsil etmekte olup, T50-T60 kodlaması ise ince agreganın toplam agregaya ağırlıkça “%” oranını ifade etmektedir. Hafif agregaların gözenekli yapısından dolayı su emme ihtiyacı fazla olduğundan karışım içerisindeki su miktarı, su emme miktarı ve toplam su miktarı olmak üzere iki ayrı sütun halinde verilmiş olup, toplam su / çimento ve efektif su / çimento olarak iki farklı parametre oluşturulmuştur. Bu parametrelerden “efektif su / çimento”, toplam karışım suyu miktarından agrega su emme miktarının çıkarılması sonucu elde edilen su ağırlığının, çimento ağırlığına oranı olarak tanımlanmıştır. Tüm karışımlarda efektif su / çimento değeri “0,5” olarak ele alınmıştır.

3.2.2 Agrega deneyleri

İzmir - Alaçatı taşının bulunduğu lokasyonuna göre özelliklerinde kısmende olsa değişkenlik göstermesi sebebiyle fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde de bir takım farklılıklar görülebilmektedir. Bu değişkenlik gösteren özelliklerden doygun kuru yüzey özgül ağırlık ve su emme değerleri hafif beton tasarımlarında iki önemli parametre olarak ele alınmıştır. Bu nedenle hafif beton tasarımında kullanılacak tane boyutundaki agregaların işleme girmeden önce doygun kuru yüzey (DKY) özgül ağırlıkları ve 24 saatlik su emme değerleri piknometre yardımıyla analiz edilmiştir (Şekil 3.4). Elde edilen teknik sonuçlar Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5 : Agregaların DKY özgül ağırlık ve su emme değerleri.

Agrega Tane Boyutu	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	Metodu	BR
DKY Özgül Ağırlık	2080	2060	1980	TS EN 1097-6	g/cm ³
Su Emme	19,3	18,22	17,59	TS EN 1097-6	%



Şekil 3.4 : Agregaların DKY özgül ağırlık ve su emme tayini analizi.

3.4.3 Taze beton deneyleri

3.4.3.1 Taze beton

Tüm hafif beton karışımları için kullanılacak agrega, çimento ve suyun, kalibrasyonu yapılmış elektronik bir hassas terazi ile malzeme ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Karışımların hazırlanmasında 40 dm³lük otomatik bir karıştırıcıdan yararlanılmıştır. Öncelikle agregaya bir miktar su ilave edildikten sonra karıştırma işlemi başlatılmış olup, bu sayede agregalar ön su emdirme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra çimento ve kalan su, karıştırıcı içerisine ilave edilmiş, ortalama 3 dakika süreyle sabit devirde karıştırma işlemine devam edilerek homojen bir karışım oluşturmaya çalışılmıştır. Hazırlanan harç, 100×100×100 mm'lik küp ve 100×200 mm'lik silindir kalıplar içerisine mala yardımıyla iki kademe olacak şekilde

doldurulmuştur. Gerekli şişleme ve yerleştirme işlemi yapılarak 24 saatlik priz alma süresine bırakılmıştır (Şekil 3.5). 24 saat süreyle kalıpta bekletilen numuneler kompresörlü hava tabancası yardımıyla çıkarılarak yüzey nemini kaybetmeyecek bir kür ortamında 7, 14 ve 28 gün boyunca laboratuvar koşullarında kürlenmiştir. Priz süresi boyunca numunelerin yüzey nemliliğinin korunmasına azami dikkat edilmiştir. Bu sayede örneklerin nem buharlaşması engellenmeye çalışılmış olup, çimento hidratasyonu için gerekli su miktarının hafif beton örneği içerisinde kalması amaçlanmıştır.



Şekil 3.5 : Beton kalıplarının doldurulması.

3.4.3.2 Slump (çökme) deneyi

Hazırlanan taze hafif beton karışımının işlenebilirlik seviyesini ölçmek için TS EN 12350-2 standardına uygun çökme hunisi metodu kullanılarak kıvam deneyi yapılmıştır. Çökme hunisi yüksekliğinin yaklaşık 1/3'ü kadar yüksekliğinde doldurma işlemleri yapılmış olup, her doldurma işleminden sonra 25 kez şişleme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.6). Son tabaka şişleme işleminden sonra düz bir mala yardımıyla yüzey tesviye edilmiş ve çökme hunisi yavaşça çekilmiştir. Kalıp alındıktan hemen sonra kalıp üst yüzey seviyesi ile çöken beton kütesinin üst noktası

arasındaki mesafe ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 3.7). Deneyin 150 saniye içerisinde tamamlanmasına dikkat edilmiştir [24].



Şekil 3.6 : Slump (çökme) hunisine betonun yerleştirilme ve doldurulma aşamaları.



Şekil 3.7 : Çökme değerinin ölçülmesi.

3.4.4 Sertleşmiş beton deneyleri

Hafif beton örneklerinden küp numuneler 7, 14 ve 28 gün kür sonrası basınç dayanım testine, silindir numuneler ise 14 ve 28 gün kür sonrasında yarmada çekme testine tabi tutulmuştur. Bu deneylerde kullanılan metod ve cihazlar aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

3.4.4.1 Basınç dayanımı tayini

Basınç dayanımı, malzemenin aksenal yük altındaki kırılmaya karşı dayanma kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Malzemelerin beton türevlerinin özelliklerini belirlemede önemli parametreler arasında yer almaktadır. Çalışmada sertleşmiş beton örneklerinin belirli yaşlardaki basınç dayanım değerleri, kalibrasyonu yapılmış olan 50 ton kapasiteli BAZMAKİNA markalı bilgisayar kontrollü tam otomatik bir pres

kullanılarak test edilmiştir. Beton kırma presinin görünümü ve test numunesinin kırılma anına ait görünüm Şekil 3.8’de verilmiştir.

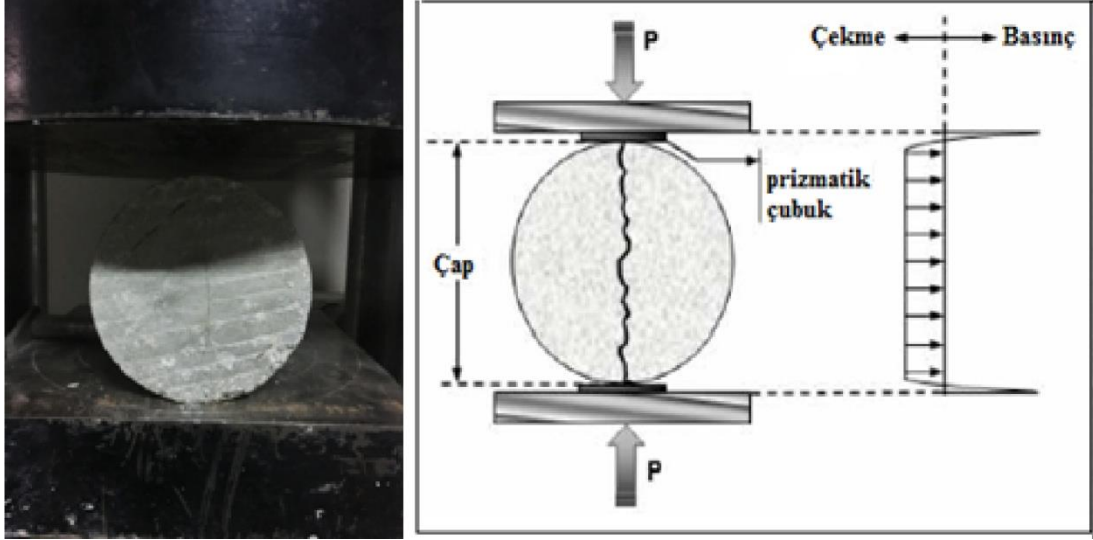


Şekil 3.8 : Otomatik pres ve küp numune basınç kırılması.

Deneyler TS EN 12390-3 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup, numune olarak 100 mm boyutlu küp örneklerden faydalanılmıştır [25]. Tüm kırma test süreçleri için deney cihazının yükleme hızı saniyede 0,2 MPa olacak şekilde ayarlanmıştır.

3.4.4.2 Yarmada çekme dayanımı tayini

Yarmada çekme dayanımı sertleşmiş beton dayanımının çekmeye karşı göstermiş olduğu mukavemeti ölçmek için kullanılan yöntemler arasında en çok tercih edilen deneylerden biri olmakla birlikte literatürde “*Brezilya Yarma Testi*” olarak da isimlendirilmektedir. Bu test, silindir şekilli numunenin iki plaka arasına yerleştirilerek çapsal basınç kuvvetinin numune boyunca uygulanmasıyla yapılmaktadır. Silindir numunelerin yarmada çekme dayanım testleri TS EN 12390-6 standardına uygun olarak yapılmış olup, sabitleme aparatı bulunmayan 50 ton kapasiteli otomatik pres kullanılmıştır [26]. 100×200 mm boyutlarındaki silindir numunelerin kullanıldığı deneyde yükleme hızı saniyede 0,06 MPa olacak şekilde ayarlanmıştır. Yarmada çekme dayanım testinin şematik gösterimi ve deney numunesinin kırılma anının sembolik görünümü Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9: Silindir numune görseli ve yarmada çekme deneyi uygulama prensibi.

Silindir numunelerin yarmada çekme dayanımı için kırılan numunelerin aritmetik yükü alınarak denklem 3.1'deki formül yardımıyla test örneğinin yarmada çekme dayanım değeri hesaplanmıştır.

$$F_{ct} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (3.1)$$

Burada;

F_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, (MPa),

P : Kırılma yükü, (N),

L : Numunenin temas çizgisi uzunluğu, (mm),

D : Numunenin çapı, mm'dir.

3.4.5 Hafif beton örneklerinin içsel gerilme değerlerinin belirlenmesi

Örneklerin içsel gerilme değerlerinin belirlenmesinde Mohr-Coulomb kriteri yaklaşım modelinden yararlanılmıştır.

3.4.5.1 Mohr-Coulomb kriteri

Genellikle kaya mekaniğinde içsel gerilme, kırılma, içsel sürtünme açısı ve kohezyonun birbiri ile olan ilişkilerini inceleyerek kaya davranışının belirlenmesinde kullanılan yaklaşım modeli Mohr-Coulomb kriteri olarak bilinmektedir. Aynı zamanda geoteknik mühendisliğinde de kullanımları yaygın olarak görülen bir kriterdir. Mohr-Coulomb kriteri normal ve kayma gerilmeleri arasındaki doğrusal

ilişkiyi kırılma şartlarıyla açıklamaktadır (Şekil 3.10). Coulomb bu ilişkiyi, istinat duvarları ile ilgili olan bir bildirisinde denklem 3.2'deki bağıntıyla ortaya koymuştur [27].

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi) \quad (3.2)$$

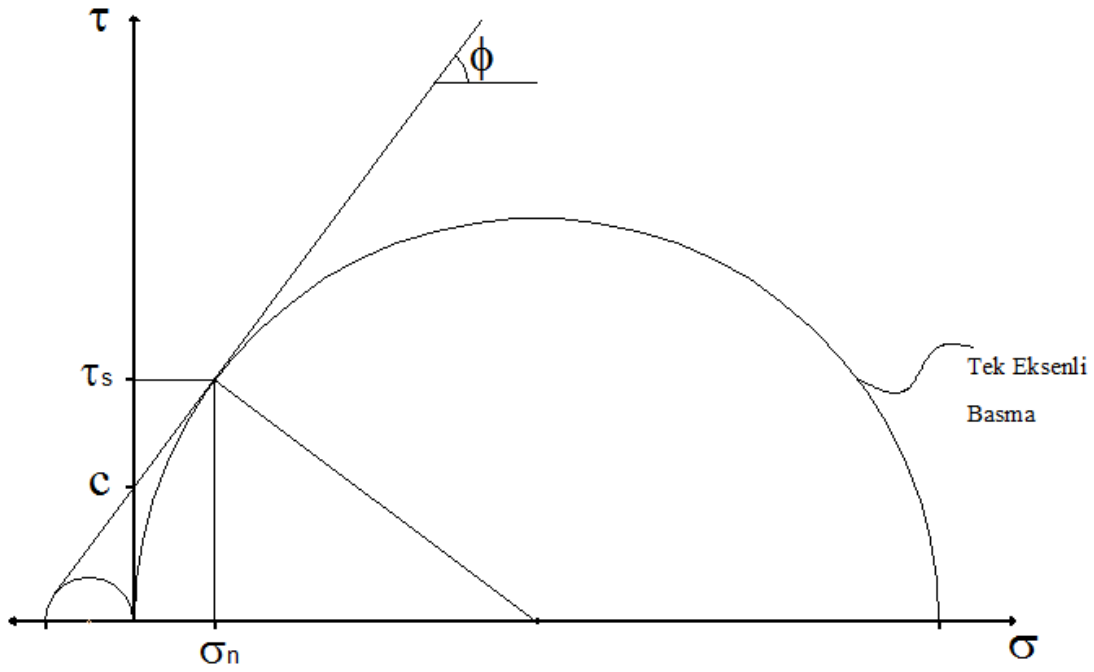
Burada;

c : kohezyon (bünyesel kayma dayanımı)

ϕ : içsel sürtünme açısı

σ : düzlemdeki normal gerilme

τ : düzlemdeki kayma gerilmesi



Şekil 3.10 : Mohr daireleri ve kırılma diyagramları.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan taze ve sertleşmiş hafif beton örneklerinin deneysel analiz bulguları ve sonuçların irdelenmesi aşağıdaki alt bölümlerde detaylı olarak verilmiştir.

4.1 Taze Beton Deney Analizi

Taze haldeki hafif betonun işlenebilirlik performansını incelemek amacıyla slump (çökme) deneyi uygulanmıştır. Bu deney tasarımıdaki tüm hafif beton karışımlarına uygulanmış olup, ortalama çökme değerleri her bir karışım için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Tablo 4.1’de karışımlara ait çökme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1 : Taze beton çökme (slump) testi bulguları.

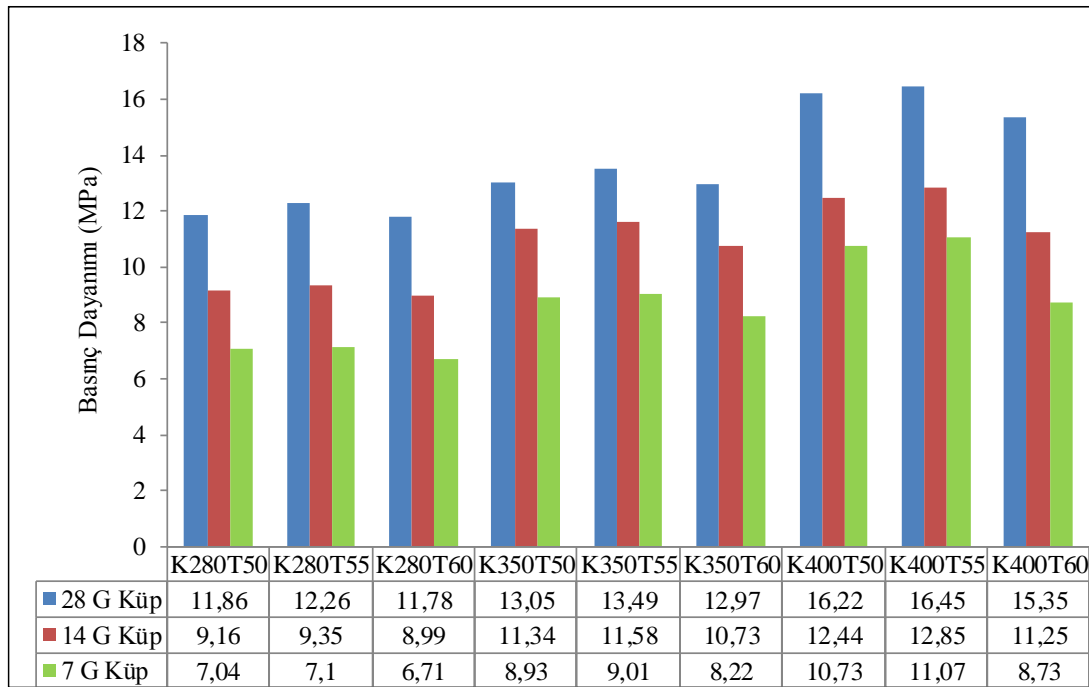
Hafif Beton Tasarımı	Slump (Çökme) Değeri (cm)
K280T50	7 (± 2)
K280T55	7 (± 2)
K280T60	7 (± 2)
K350T50	8 (± 2)
K350T55	8 (± 2)
K350T60	8 (± 2)
K400T50	9 (± 2)
K400T55	9 (± 2)
K400T60	9 (± 2)

Karışımlarda ağırlıkça agrega oranlarının azalması buna bağlı olarak çimento dozajının artması ve sabit efektif su / çimento oranı neticesinde çökme değerlerinde bir artış söz konusu olduğu görülmüştür. Tablo 4.1’de görülen 7-9 cm çökme değerlerinin beton kıvamı açısından iyi bir işlenebilirlik için yeterli olduğu görülmektedir. İşlenebilirlik özelliği anlamında K400 kodlu karışımların diğer karışımlara göre daha iyi performans sergilediği görülmektedir. Bu veriler irdelendiğinde, karışımdaki çimento dozajı arttıkça taze beton çökme değeri işlenebilirlik ölçütünün arttığı genel bir trend olarak gözlenmiştir.

4.2 Sertleşmiş Beton Numunelerinin Özellikleri

4.2.1 DKY beton örneklerinin basınç dayanım analizi

Bu çalışma kapsamında hazırlanan tüm beton karışımlarına ait 7, 14 ve 28 gün küresi sonunda elde edilmiş basınç dayanımı bulguları Şekil 4.1’de verilmiştir. 280, 350 ve 400 kg/m³ çimento içeren beton karışımlarında K280T55, K350T55, K400T55 tasarımlarının tüm beton yaşlarında en iyi performansı sergilediği görülmüştür.



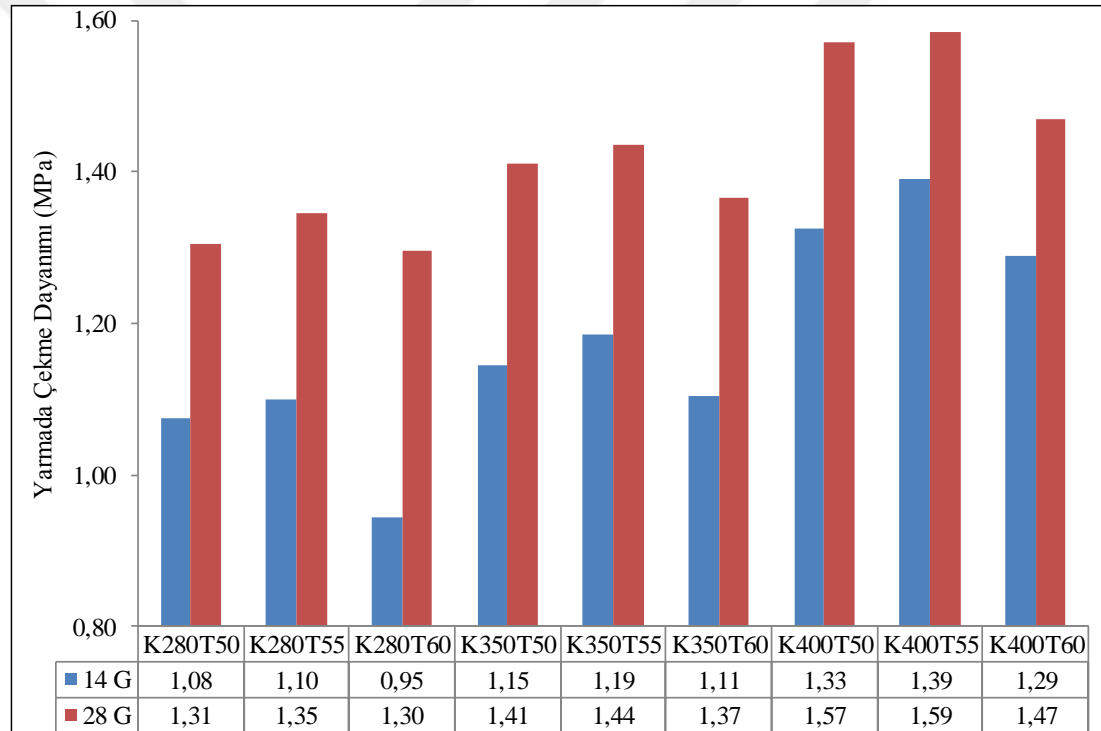
Şekil 4.1 : DKY beton örneklerinin basınç dayanımı bulguları.

Şekil 4.1 irdelendiğinde genel olarak beton karışımındaki çimento dozajının artmasına paralel olarak, beton örneklerinin basınç dayanım değerlerinde de bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Hafif beton tasarımlarının basınç dayanım değerleri artışı 7. gün kür süresinden 28. gün kür süresine %46-75 aralığında değişim göstermiş olup, en fazla artış T60 tipi tasarımlarda görülmüştür. Özellikle K280T60 ve K400T60 tasarımları yaklaşık %75 dayanım artışı göstermiştir. Beton karışımlarında ince agreganın toplam agregaya ağırlıkça oranının artış göstermesi, özellikle 280 kg/m³ çimentolu ve 7 gün kür sonrası test edilen örneklerin basınç dayanımında etken bir rol sergilemediği görülmektedir. Ancak, kür süresinin ilerlemesi, dayanım artışında değişken değerlerin oluşmasına sebep olmuştur. Bu olgu genel olarak irdelendiğinde, T55 olarak kodlanmış olan “ince agreganın toplam

agregaya ağırlıkça oranının %55 olduğu” karışımlarda, maksimum basınç dayanım değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Beton dayanımlarının değerlendirilmesi bağlamında ise karışımlara ait 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerlerinin 12-16,5 MPa aralığında değişim sergilediği görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda hafif beton tasarımlarının taşıyıcı beton sınıfında değerlendirilemeyeceği görülmüştür.

4.2.2 DKY beton örneklerinin yarmada çekme dayanım analizi

Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan tüm beton karışımlarına ait 7, 14 ve 28 gün kürlenme sonucunda elde edilmiş yarmada çekme dayanım test bulguları Şekil 4.2’de verilmiştir.



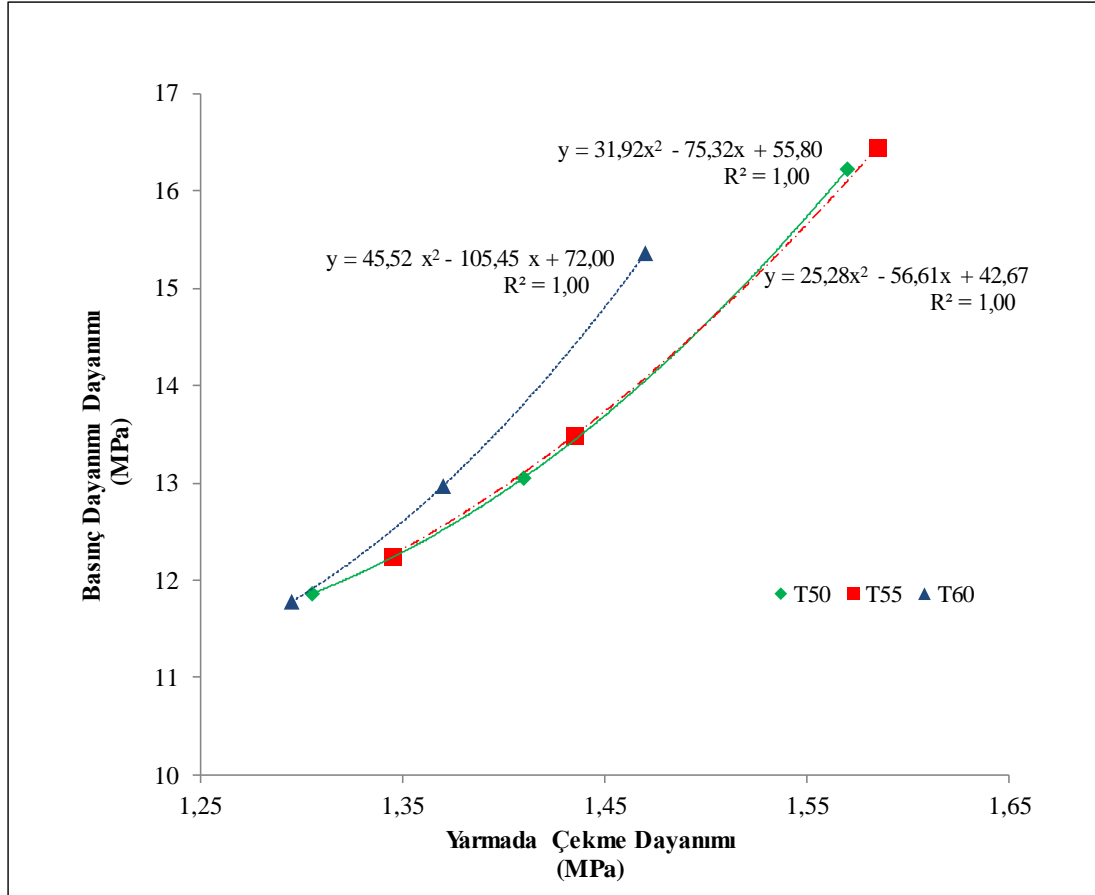
Şekil 4.2 : DKY beton örneklerinin yarmada çekme dayanım bulguları.

280, 350 ve 400 doz çimento içeren beton karışımlarında K280T55, K350T55, K400T55 tasarımlarının tüm beton yaşlarında en yüksek değeri verdiği görülmüştür. Tüm tasarımlarda T60 olarak kodlanmış beton numunelerinin en düşük yarmada çekme dayanım değerine sahip olduğu görülmüştür. Hafif beton tasarımlarında çimento dozajı miktarının yaklaşık %43 artış göstermesine rağmen yarmada çekme dayanım sonuçlarında yaklaşık %17’lik bir iyileşme görülmüştür. Ayrıca tasarımlarda toplam agrega içerisindeki ince agrega miktarının artması, yarmada

çekme dayanım değerine yaklaşık %3-%8 seviyesinde bir etkisi olmuş olup, dayanım değerleri birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir.

4.3 Basınç Dayanımı ve Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi

Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının 28 gün kür sonrası elde edilen değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.3’de verilmiştir.



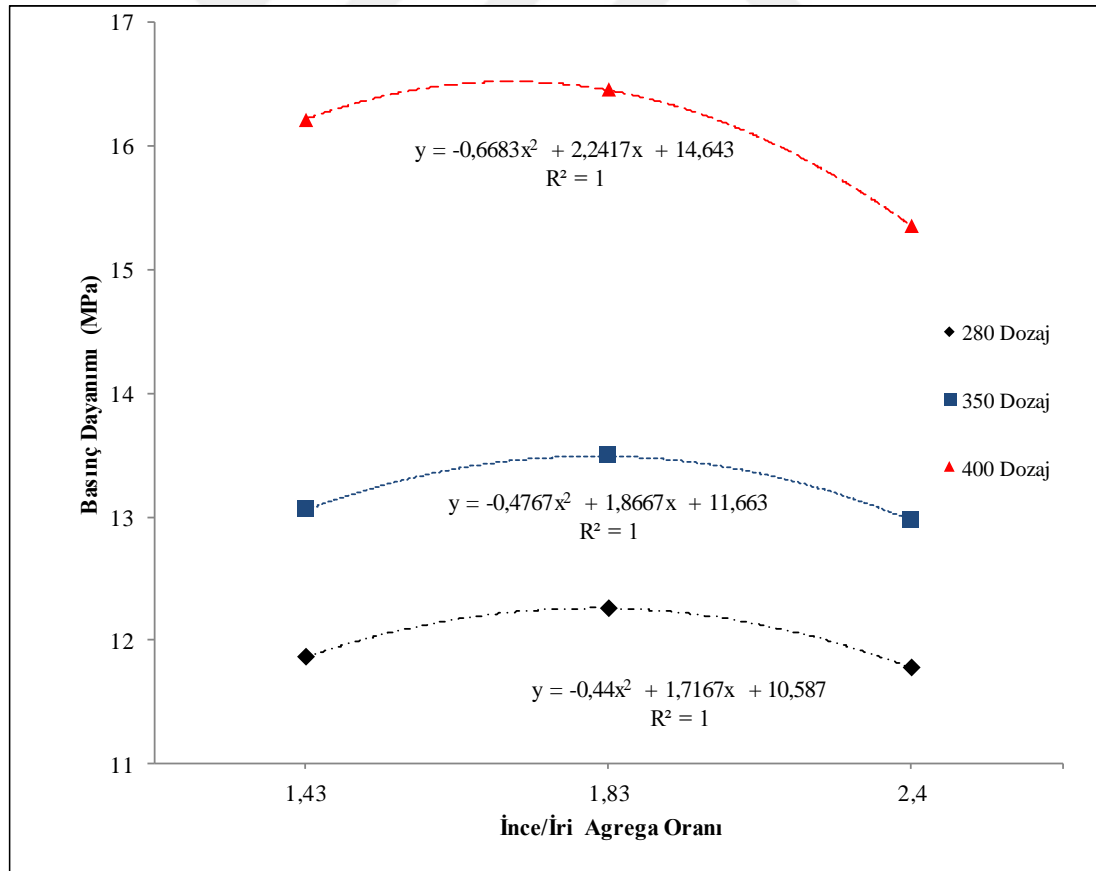
Şekil 4.3 : Basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki.

T50, T55, T60 olarak kodlanmış beton örneklerin 280, 350, ve 400 doz çimentolu tasarımlarının basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanım değerleri arasında polinomial bir ilişki bulunmakta olup, basınç dayanım değerinin artmasıyla yarmada çekme dayanım değerinde iyileşme görülmüştür. Ayrıca T50, T55, T60 olarak kodlanmış beton tasarımları için, grafik üzerindeki noktalardan geçecek şekilde eğilim çizgileri oluşturulduğunda 2. dereceden bir polinom fonksiyon ile örtüştüğü görülmektedir. Bu polinomial ilişki neticesinde, çalışma kapsamındaki tasarımlar içerisinde bulunmayan 280-350 ve 350-400 arası çimento dozajına sahip benzer

tasarımlar için yaklaşık basınç dayanım değeri ve yarmada çekme dayanım değerinin hesaplanabileceği söylenebilir.

4.4 Basınç Dayanımı Agregada İncelik Oranı İlişkisi

Hafif beton tasarımlarının bileşimlerinde de görüldüğü gibi T50 olarak kodlanmış hafif beton tasarımından T60 olarak kodlanan hafif beton tasarıma kadar, toplam agregada içerisinde ağırlıkça yüzdesel olarak artan bir ince agregada oranı söz konusudur. Burada orta agregada miktarlarının sabit tutulması ince / iri agregada oranının etkisini ön plana çıkarmaktadır. Bu sayede, karışımlardaki ince agregada miktarının iri agregada miktarına oranının basınç dayanımına etkisi irdelenmeye, optimum ince / iri agregada oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Bulgular Şekil 4.4'de grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 4.4 irdelendiğinde, karışımdaki ince / iri agregada oranının belirli bir seviyeye kadar arttırıldığında, basınç dayanımının artış eğilimli olduğu fakat optimum ince / iri agregada oranı geçildiğinde basınç dayanımının azalma eğilimli olduğu görülmüştür.

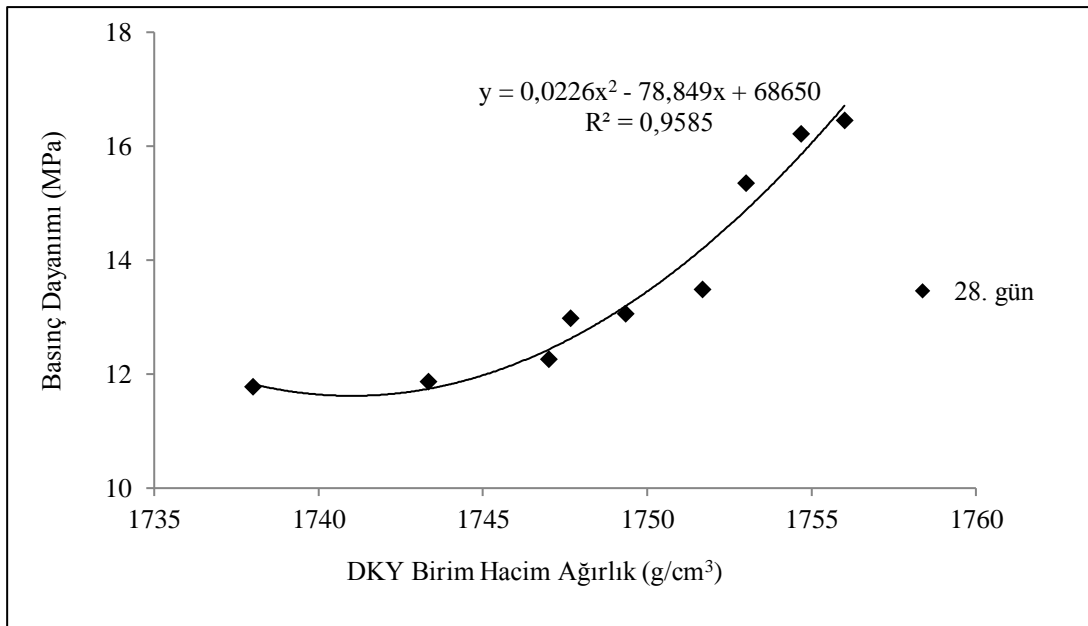


Şekil 4.4 : Basınç dayanımı agregada incelik oranı ilişkisi.

Grafiklerin üzerinde eğilim çizgisi oluşturulduğunda 2. dereceden polinom bir fonksiyon ile örtüştüğü, bu fonksiyonların dönüm noktaları hesaplandığında 280 doz çimentolu beton numunelerinde “1,96” değeri, 350 doz için “1,95” değeri, 400 doz çimentolu beton numunelerinde ise “1,68” değeri elde edildiği görülmüştür. Bu değerler optimum ince / iri agrega oranı olarak da söylenebilir. 280 ve 350 doz çimentolu tasarımlarda optimum ince / iri agrega oranı değerleri birbirine yakın olmasına karşın 400 doz çimentolu hafif beton tasarımlarında daha düşük değer elde edilmiştir. Aynı dozaja sahip hafif beton tasarımlarında ince agrega miktarının iri agrega miktarına göre çok yüksek olması yada optimum değer üzerinde kalması basınç dayanım değerinde azalmaya sebebiyet vermektedir. Bu veriler doğrultusunda hamur hacmi arttıkça dayanımı iyileştirmek için daha düşük ince / iri agrega oranı gerektiği görülmüştür.

4.5 Basınç Dayanımı DKY Birim Hacim Ağırlık İlişkisi

Normal betonlarda genellikle birim hacim ağırlığın artması ile basınç dayanım değerinin arttığı gözlenmektedir. Hafif betonlarda da aynı durumun görülmesi beklenmektedir. Yapılan çalışmada 28 gün kür süresi sonunda DKY haldeki numunelerin basınç dayanım değerleri ve birim hacim ağırlık değerleri karşılaştırılmış olup, Şekil 4.5’de verilmiştir.

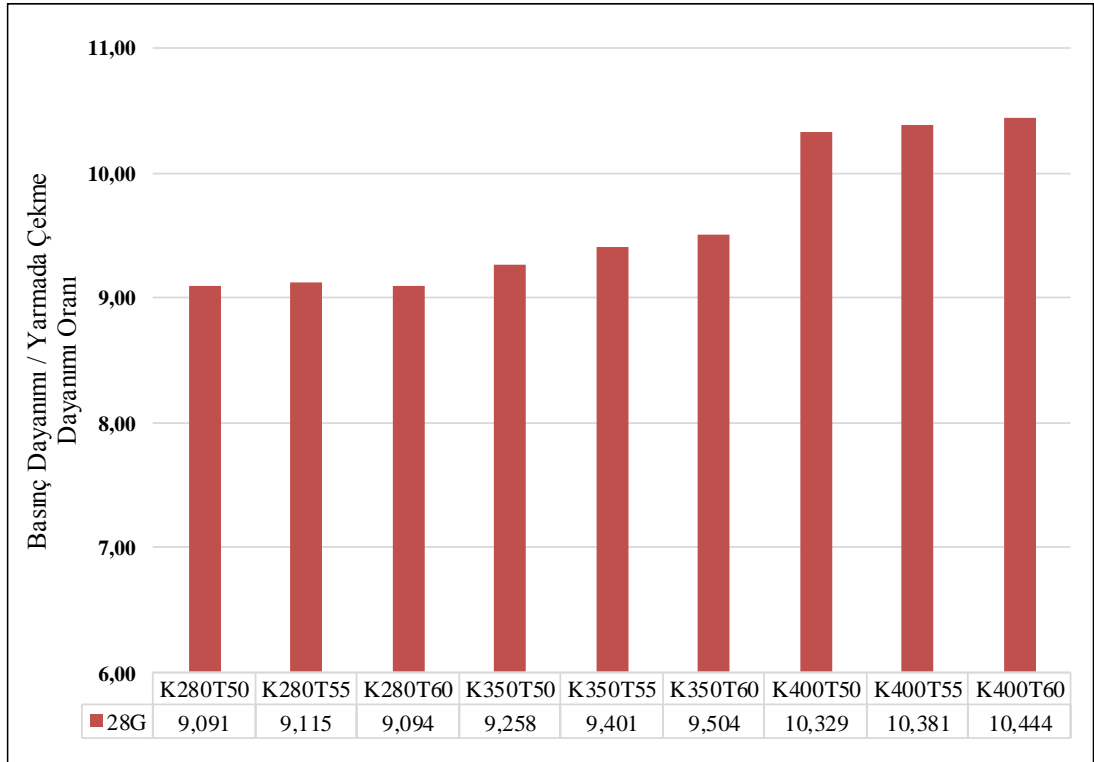


Şekil 4.5: Basınç dayanımı DKY birim hacim ağırlık ilişkisi.

Şekil 4.5 irdelendiğinde, 1738-1756 g/cm³ aralığında birim hacim ağırlık değerine sahip olan numunelerin basınç dayanım değerinin 11,78-16,45 MPa aralığında değişiklik gösterdiği görülmüştür. Birim hacim ağırlık değerinde görülen %0,92 oranındaki küçük artışa rağmen basınç dayanım değerinde yaklaşık %40 oranında bir artış söz konusu olmuştur. Tüm tasarımlarda efektif su / çimento oranınının 0,5 olması, yüksek çimento içeriğine sahip tasarımlarda, DKY birim hacim ağırlık değerlerinde sınırlı artışa neden olmuştur. Bu nedenle tasarımların DKY birim hacim ağırlık değerleri birbirine çok yakın seyretmiştir. Ayrıca veriler üzerinde eğilim çizgisi oluşturulduğunda R² değeri 0,9585 olan 2. dereceden polinom bağıntı elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, basınç dayanımı ile DKY birim hacim ağırlık arasında anlamlılık düzeyi yüksek bir ilişki görülmüştür.

4.6 Basınç Dayanımı Yarmada Çekme Dayanımı Oranı İlişkisi

Literatürde normal betonların çekme / basınç dayanım oranınının yaklaşık 0.1 değerine karşılık geldiği sıklıkla rapor edilse de bu durumun su / çimento değeri ve agrega yapısıyla değişkenlik gösterebileceği bilinmektedir [28]. Bu nedenle çalışmada elde edilen numunlerin basınç dayanım değerinin (BD) yarmada çekme dayanım değerine (YÇD) oranı analiz edilerek Şekil 4.6'da verilmiştir.

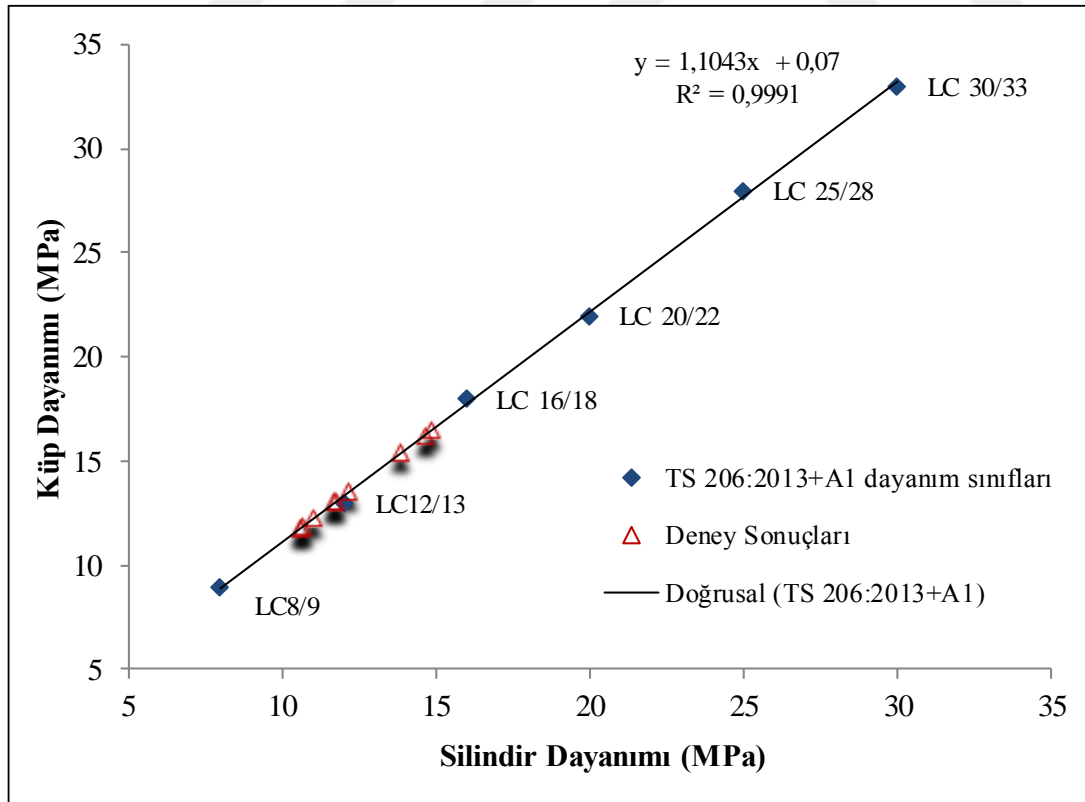


Şekil 4.6 : Basınç dayanımı yarmada çekme dayanımı oranı grafiği.

Şekil 4.6 irdelendiğinde, 280 ve 350 doz çimento miktarına sahip tasarımların BD / YÇD oranları 10'un altında kalmış olduğu ancak 400 dozlu tasarımların 10'un üzerinde olduğu görülmektedir. 280 doz çimento tasarımlı örneklerin BD / YÇD oranları 9,1-9,2 aralığında, 350 doz çimento tasarımlı örneklerin 9,3-9,5 aralığında ve 400 doz çimento tasarımlı örneklerin 10,3-10,4 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Hafif beton tasarımları içerisindeki çimentonun ağırlıkça oranı arttıkça BD / YÇD oranında da artış görülmüştür. Aynı doz çimentolu hafif beton tasarımlarının efektif su / çimento oranlarının 0.5 değerinde sabit olmasına rağmen, BD / YÇD oranlarında küçük değişimlerin görülmesi, tasarımlarda ortalama agrega çapının farklılık göstermesi ile ilişkilendirilebilir.

4.7 Hafif Beton Tasarımlarının Dayanım Sınıflandırılması

Hazırlanan 9 farklı hafif beton tasarımlarından elde edilen küp dayanımı sonuçları silindir basınç dayanımına çevrilmiş olup, TS 206:2013+A1' de belirtilen dayanım sınıflandırmasında hafif beton örneklerinin hangi aralıkta kaldığı işaretlenerek Şekil 4.7'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.7 : Hafif beton tasarımlarının dayanım sınıflandırılması.

Şekil 4.7 irdelendiğinde, grafikte görülen doğrudan TS 206:2013+A1 standardında belirtilen hafif beton dayanım sınıflandırmalarının değerleri işaretlenerek denklem 4.1'deki fonksiyon oluşturulmuştur. Bu fonksiyon hafif beton tasarımlarının küp dayanım sonuçlarını silindir dayanımına çevirmek için kullanılmıştır.

$$F(x) = 1,104x + 0,07 \quad (4.1)$$

Hafif beton tasarımlarına ait dayanım bulguları değerlendirildiğinde grafikte belirtilen LC 8/9 ve LC 12/13 sınıftaki dayanım değerlerini karşılayabildiği, LC 16/18 dayanım sınıfının ise yaklaşık 1,5 MPa altında kaldığı görülmüştür. Bu 1,5 MPa'lık fark, hafif beton dayanım değerinin yaklaşık %9'una denk gelse de tasarımda yapılabilecek bazı düzenlemeler ile LC 16/18 dayanım sınıfı değerini sağlayabilecek hafif betonun üretilebileceği düşünülmektedir. Bu veriler neticesinde elde edilen hafif betonların yarı taşıyıcı (orta dayanımlı) hafif beton sınıfında değerlendirilmeye daha elverişli olduğu görülmektedir.

4.8 Hafif Beton Tasarımlarının İçsel Gerilme Analizi

Bu çalışmada, hafif beton örneklerinin içsel gerilmelerinin incelenmesinde Mohr-Coulomb kriterinden faydalanılmıştır. Mohr-Coulomb kriterinde kullanılan parametreler çimento matrisli malzemelerin mekanik özellikleri hakkında tahminlerde bulunmak için kullanılabilen değerler arasındadır. Normal gerilme, kayma gerilmesi, kohezyon, kırılma açısı ve içsel sürtünme açısı Mohr-Coulomb kriteri içerisinde yer alan önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin bazıları daha çok kaya ve zemin mekaniğinde kullanılmaktadır. Örneğin, içsel sürtünme açısı, kohezyon ve kırılma açısı kayalık ve zemin sınıflandırılmasında ve taşıma gücü hesaplamalarında kullanılabilir [29].

Hafif beton örneklerinin dayanım özelliklerini daha iyi irdelemek amacıyla Mohr-Coulomb yöntemiyle içsel gerilme değerleri analiz edilerek Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 : Hafif beton tasarımlarının içsel gerilme değerleri.

Hafif Beton Tasarımı	C (MPa)	σ_s (MPa)	σ_n (MPa)	ϕ (°)	α (°)
K280T50	1,97	3,55	1,18	53,23	71,62
K280T55	2,03	3,66	1,22	53,28	71,64
K280T60	1,96	3,52	1,17	53,25	71,62
K350T50	2,14	3,87	1,27	53,61	71,80
K350T55	2,20	3,98	1,30	53,81	71,91
K350T60	2,11	3,81	1,24	53,99	72,00
K400T50	2,52	4,60	1,43	55,44	72,72
K400T55	2,56	4,66	1,45	55,46	72,73
K400T60	2,38	4,34	1,34	55,61	72,81

C : Kohezyon

σ_s : Kayma gerilmesi

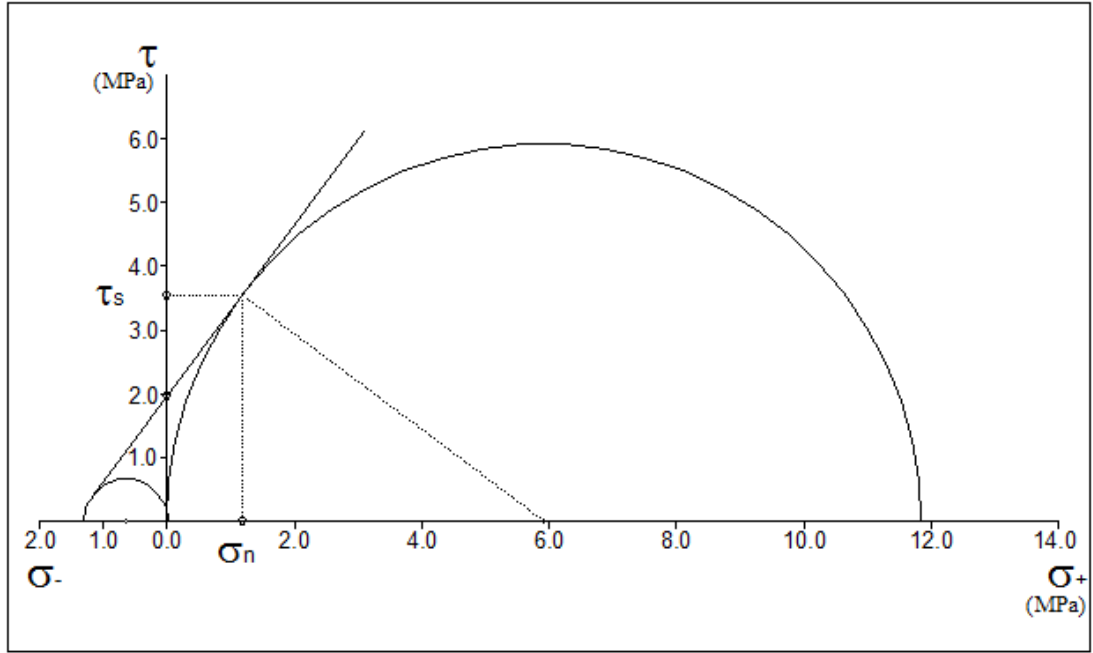
σ_n : Normal gerilme

ϕ : İçsel sürtünme açısı

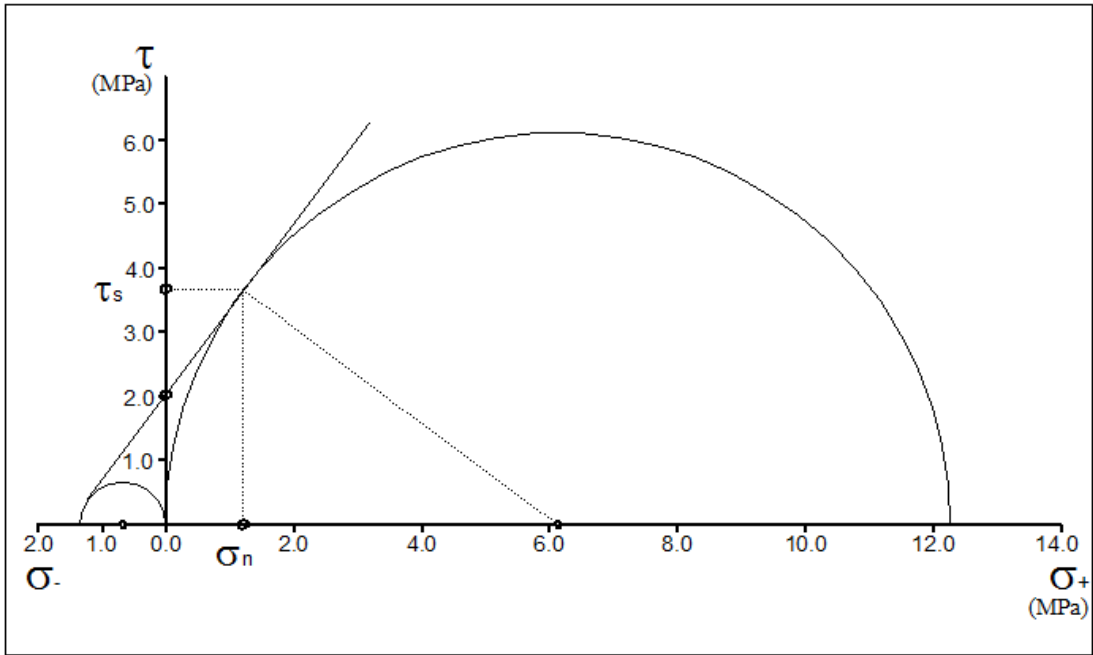
α : Kırılma açısı

4.8.1 Mohr daireleri analizi

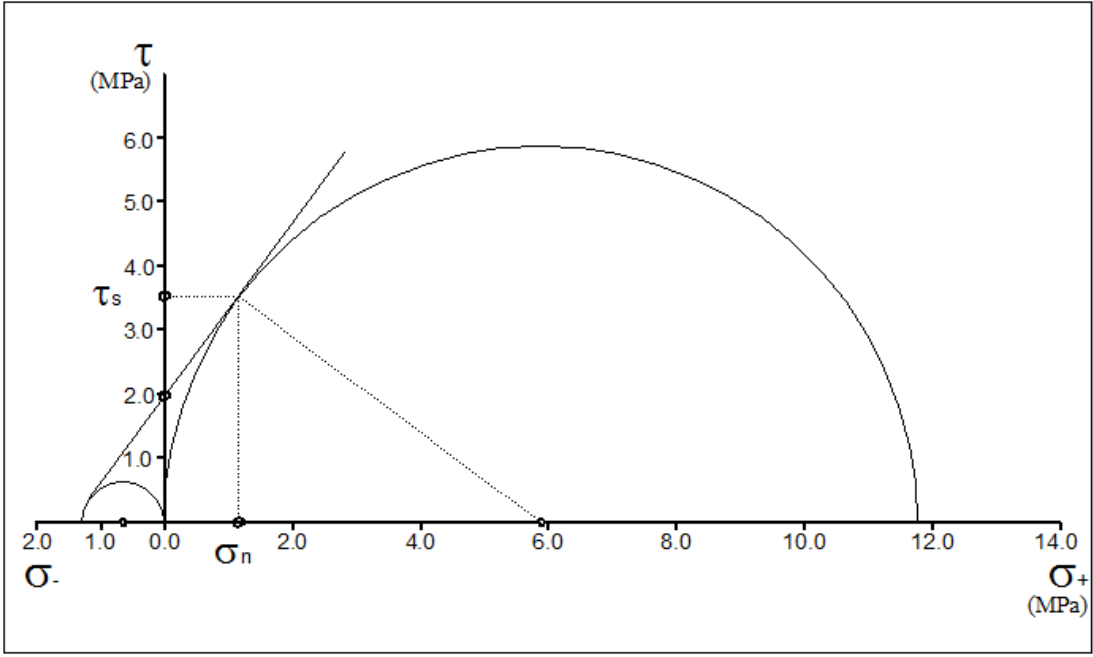
Mohr-Coulomb kriteri çekme ve basınç gerilmelerine dayanarak elde edilen hafif beton örneklerine ait yapısal bazı mekanik özelliklerinin yorumlanmasında kullanılmıştır. Literatürde yapılan bir araştırma sonucuna göre, betonda direkt çekme / yarmada çekme oranının ortalama 0,97 mertebesinde olduğu ayrıca, kaya mekaniği disipliniinde bu oranın pratik anlamda 1 olarak kabul edildiği bilinmektedir [28]. Bu nedenle çalışmada Mohr daireleri, basınç dayanım değeri ve yarmada çekme dayanım değerleri kullanılarak iki eksenli çizimle analiz edilmiştir. Öncelikle x eksenin normal gerilmeyi, y eksenin kayma gerilmesini ifade ettiği bir koordinat sistemi oluşturulmuştur. X ekseninin solundaki yarım daire yarmada çekme dayanım değerini, sağdaki yarım daire ise basınç dayanım değerini göstermektedir. İki daireye de teğet olacak şekilde bir doğru çizildiğinde, bu doğrunun yatay ile yaptığı açı içsel sürtünme açısını, Y eksenini kestiği nokta ise kohezyon değerini vermektedir. Bu doğrunun eğimi ise normal gerilme ve kayma gerilmesi değerlerini elde etmeyi sağlamaktadır. Çizimler tüm hafif beton tasarımları için yapılmış olup, grafiksel analizlere ait görseller Şekil 4.8'den 4.16'ya kadar verilmiştir.



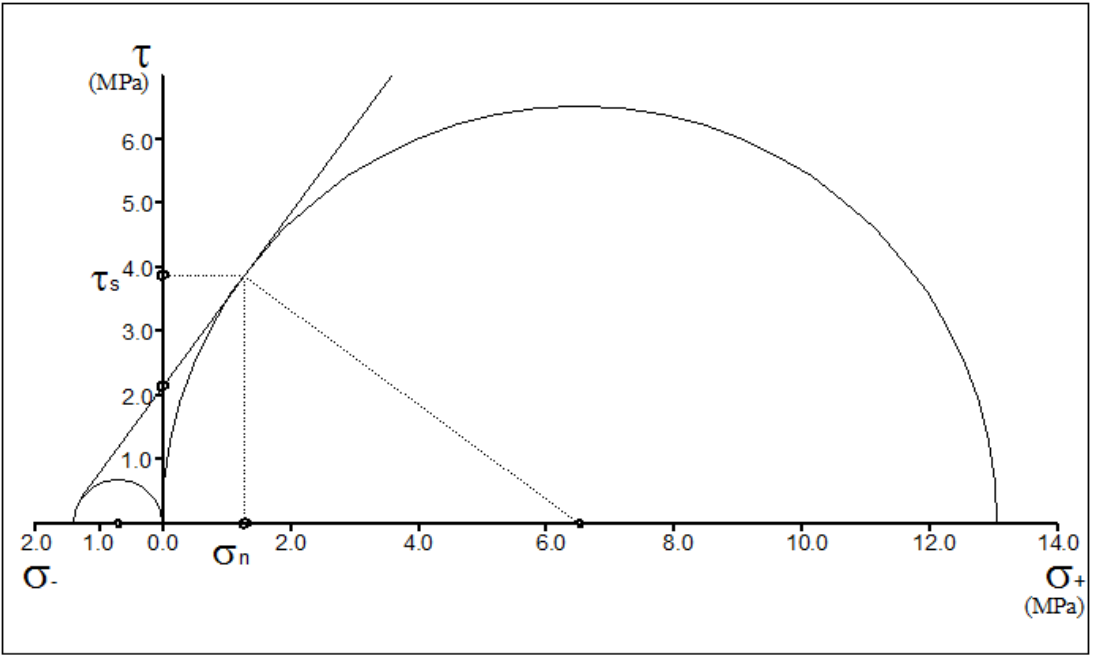
Şekil 4.8 : K280T50 tasarımına ait Mohr daireleri.



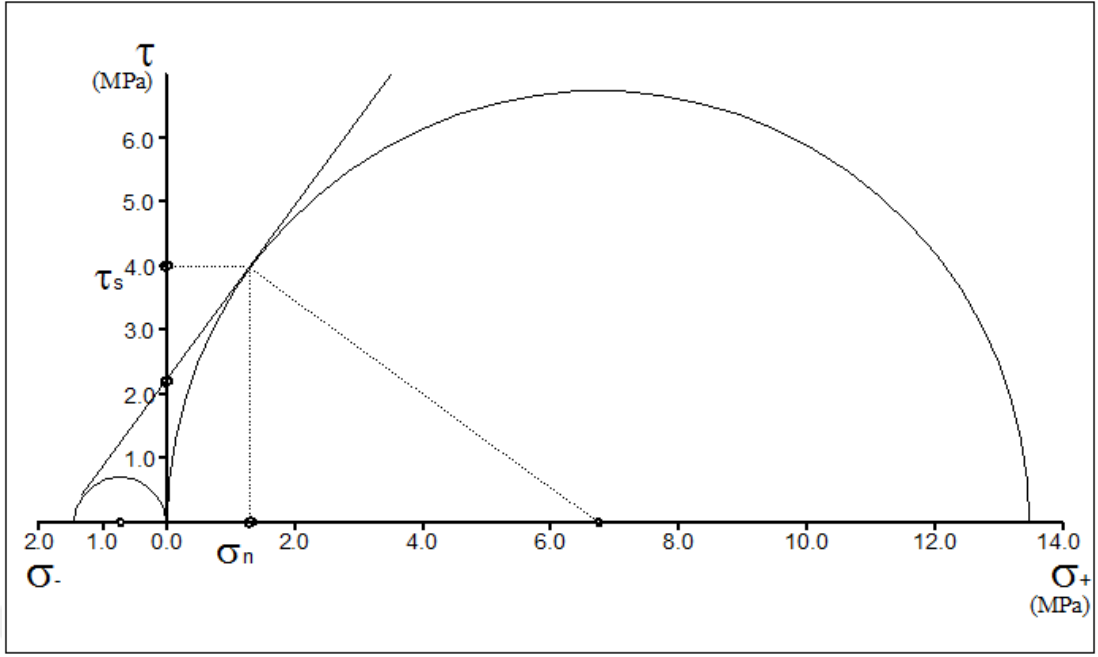
Şekil 4.9 : K280T55 tasarımına ait Mohr daireleri.



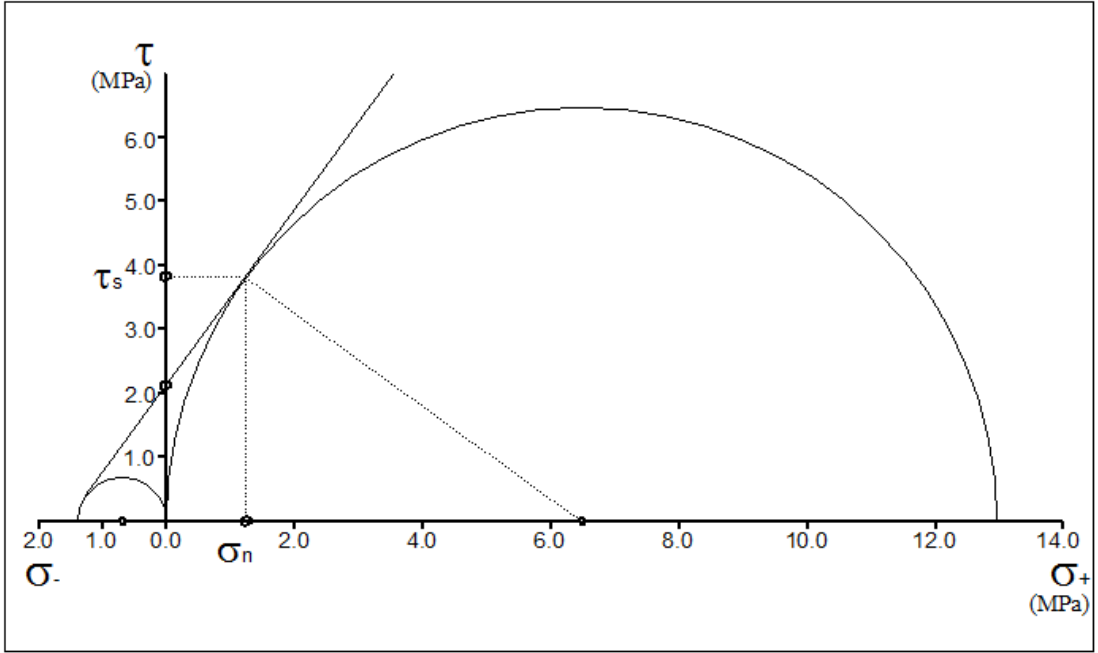
Şekil 4.10 : K280T60 tasarımına ait Mohr daireleri.



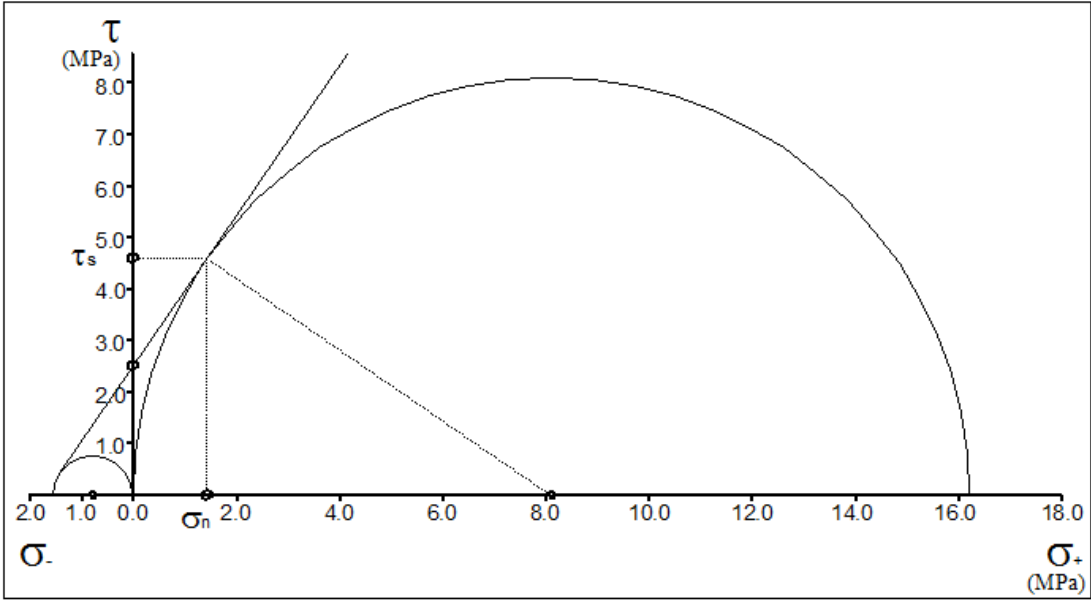
Şekil 4.11 : K350T50 tasarımına ait Mohr daireleri.



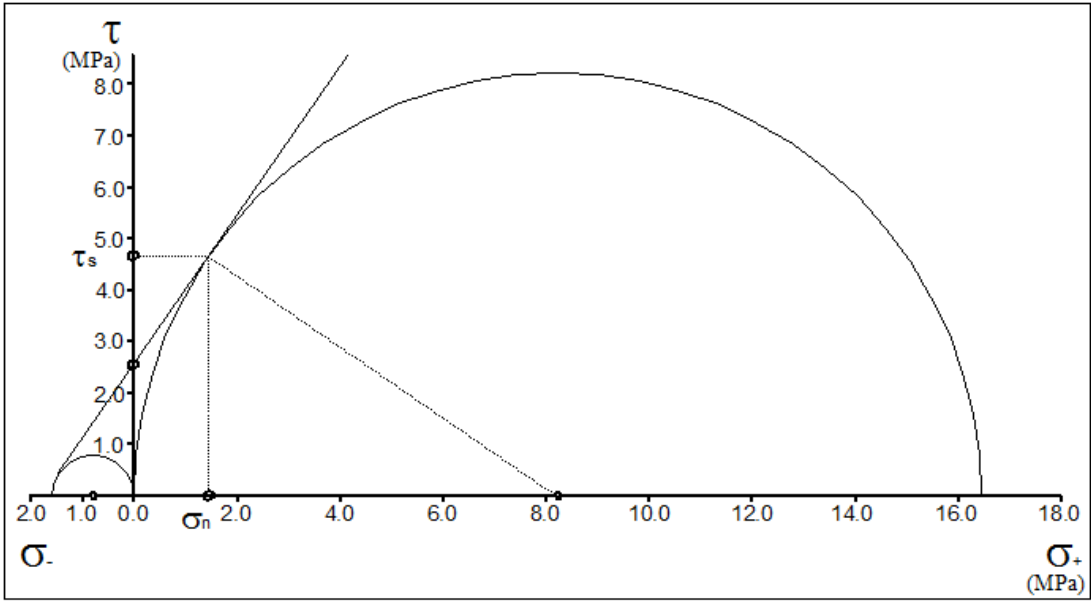
Şekil 4.12 : K350T55 tasarımına ait Mohr daireleri.



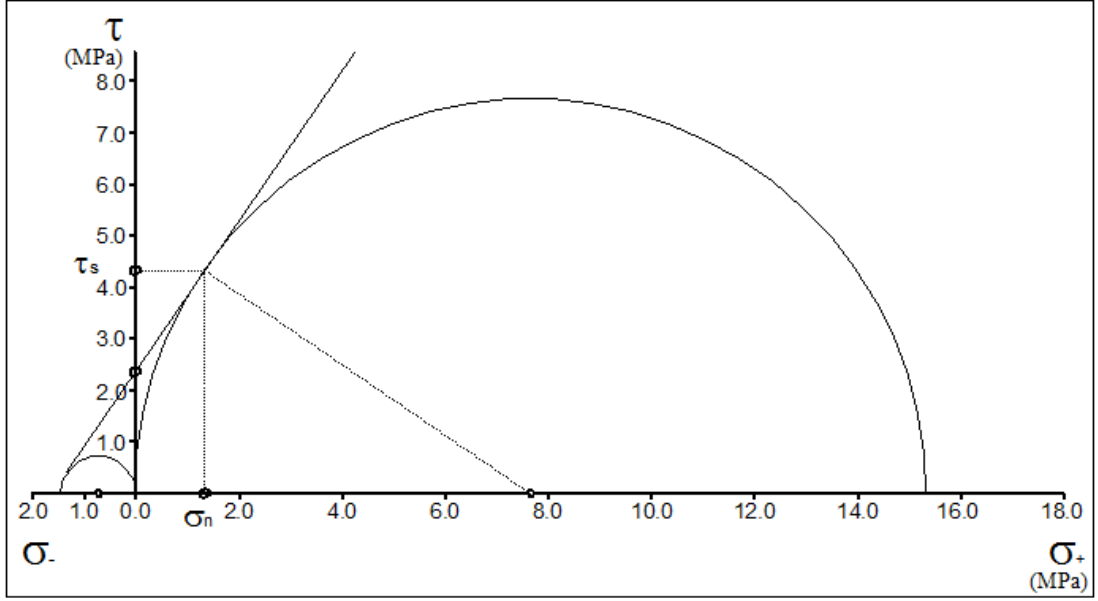
Şekil 4.13 : K350T60 tasarımına ait Mohr daireleri.



Şekil 4.14 : K400T50 tasarımına ait Mohr daireleri.



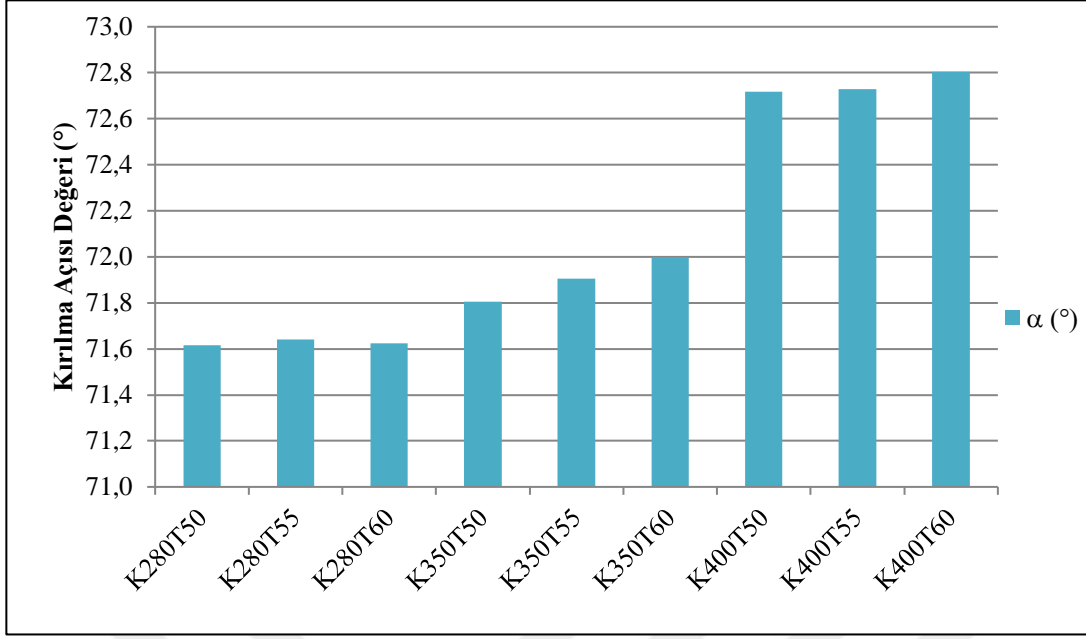
Şekil 4.15 : K400T55 tasarımına ait Mohr daireleri.



Şekil 4.16 : K400T60 tasarımına ait Mohr daireleri.

4.8.2 Kırılma açısı analizi

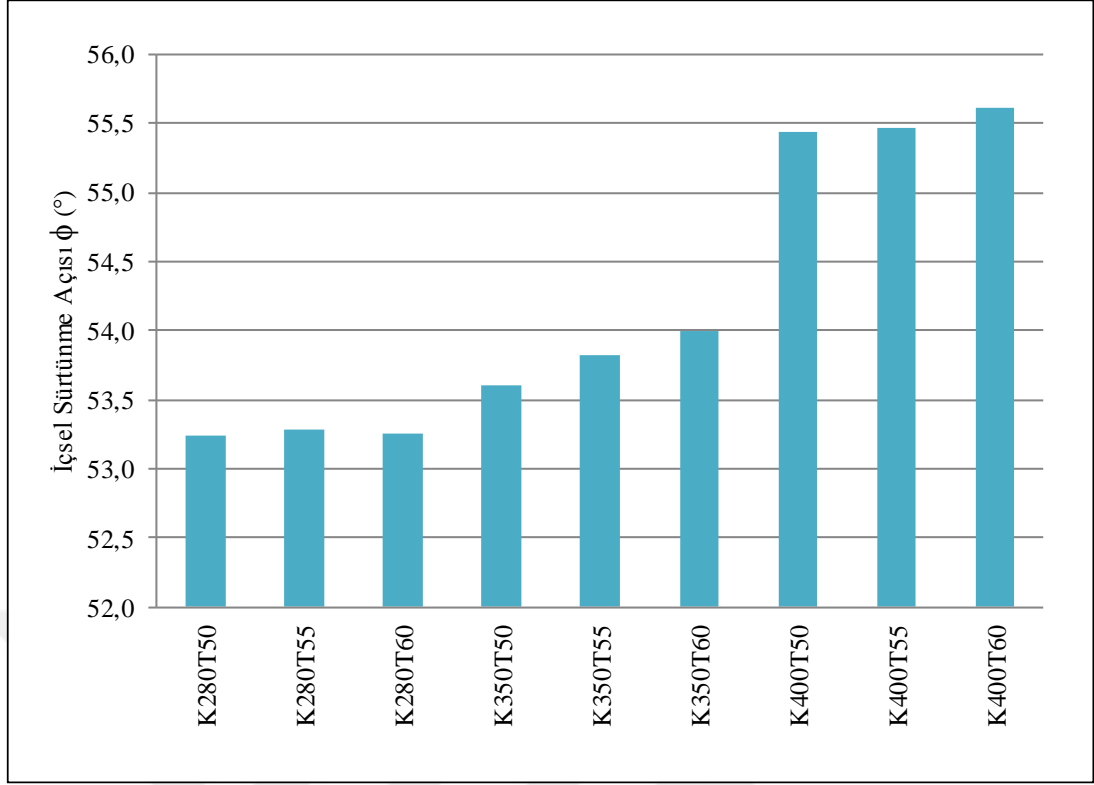
Kaya mekaniğinde kırılma açısı genellikle kayaç oluşum türüne bağlıdır. Sert kayalarda kırılma açısı daha büyük iken, yumuşak karakterde olan kayaç türlerinde daha düşük değerler almaktadır. Özellikle çok küçük kırılma açısı değerine sahip oluşumlar kum gibi kayabilmektedir. Aynı yaklaşım çimentolu harçlar içinde geçerli olabilmektedir. Elde edilen 9 farklı hafif beton örneklerinin kırılma açısı 71,6-72,8° değerleri arasında elde edilmiş olup, Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekil 4.17 irdelendiğinde, çimento dozajı arttıkça kırılma açısı değerlerinin de arttığı görülmüştür. Hafif beton örneklerinin kırılma açısı değerlerinin artmasıyla birlikte, örneklerin daha sert ve gevrek özellik sergileyebileceği öngörülebilmektedir.



Şekil 4.17 : Hafif beton örneklerine ait kırılma açısı değerlerinin kıyaslanması.

4.8.3 İçsel sürtünme açısı analizi

İçsel sürtünme açısı Mohr-Coulomb kriterinde kayma ve normal gerilme değerlerinden geçen kırılma zarfının yatay ile yaptığı açıdır. Kaya veya zemin mekaniğinde içsel sürtünme açısı malzemenin kayma mukavemetine karşı dayanıklılık yeteneği olarak literatürde ifade edilmektedir. Zemin ve kaya sınıflandırmalarında kayma mukavemeti içsel sürtünme açısı değeri ile kıyaslanabilmektedir. 30°'nin altındaki içsel sürtünme açısı değerlerindeki ortamın gevşek olduğu, üzerindeki değerlerde ise açının artmasıyla kompakt, yoğun ve aşırı yoğun olarak sınıflandırılabilir. 15°'nin altındaki içsel sürtünme açısına sahip kayalar ise zayıf olarak nitelendirilmektedir. Hafif beton için de benzer bir yaklaşımla yorumlama yapabilmek için numunelerin içsel sürtünme açısı değerleri Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 : Hafif beton örneklerine ait içsel sürtünme açısı değerlerinin kıyaslanması.

Şekil 4.18 irdelendiğinde, hafif beton tasarımlarında içsel sürtünme açısı değerlerinin 53-56° aralığında olduğu gözlenmiştir. Hafif beton tasarımlarının çimento dozajı arttıkça içsel sürtünme açısı değerinin artış eğilimli olduğu görülmüştür. 350 ve 400 doz çimentolu tasarımlarda karışım içerisindeki ince agrega miktarının artması ile içsel sürtünme açısı değerinin arttığı gözlenmiş olup, yüksek çimento dozajına sahip hafif beton tasarımlarında ince agrega oranının yüksek olması ile birlikte, sıkıştırma yoğunluğunun arttığı düşünülebilir.

4.8.4 Normal gerilme analizi

Normal gerilme, malzemenin kalıcı deformasyonlara uğramadan taşıyabileceği maksimum yük olarak bilinmektedir. Bir başka deyişle, malzemenin basınç altında içsel kırılmalara veya yorulmaya başladığı ilk andaki gerilme olarak da tanımlanabilmektedir. Normal gerilme (σ_n) değeri ile basınç mukavemeti değeri (σ) arasındaki değerlerde malzeme bir takım kalıcı hasarlara maruz kalmaktadır. Malzemede, üzerine tek eksenli olarak etkiyen yük itibarıyla taşıyabildiği en büyük gerilme basınç mukavemeti değerini ortaya çıkarmaktadır. Normal gerilme ile basınç mukavemeti arasındaki fark, malzemenin taşıma kapasitesi ile

ilişkilendirilebilmektedir. Bu öngörü doğrultusunda çalışma kapsamında elde edilen hafif beton tasarımlarının yük taşıma kapasitelerini yorumlamak amacıyla, basınç mukavemeti / normal gerilme değeri oranları (σ/σ_n) elde edilmiş olup, Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 : Hafif beton tasarım örneklerinin yük taşıma kapasiteleri.

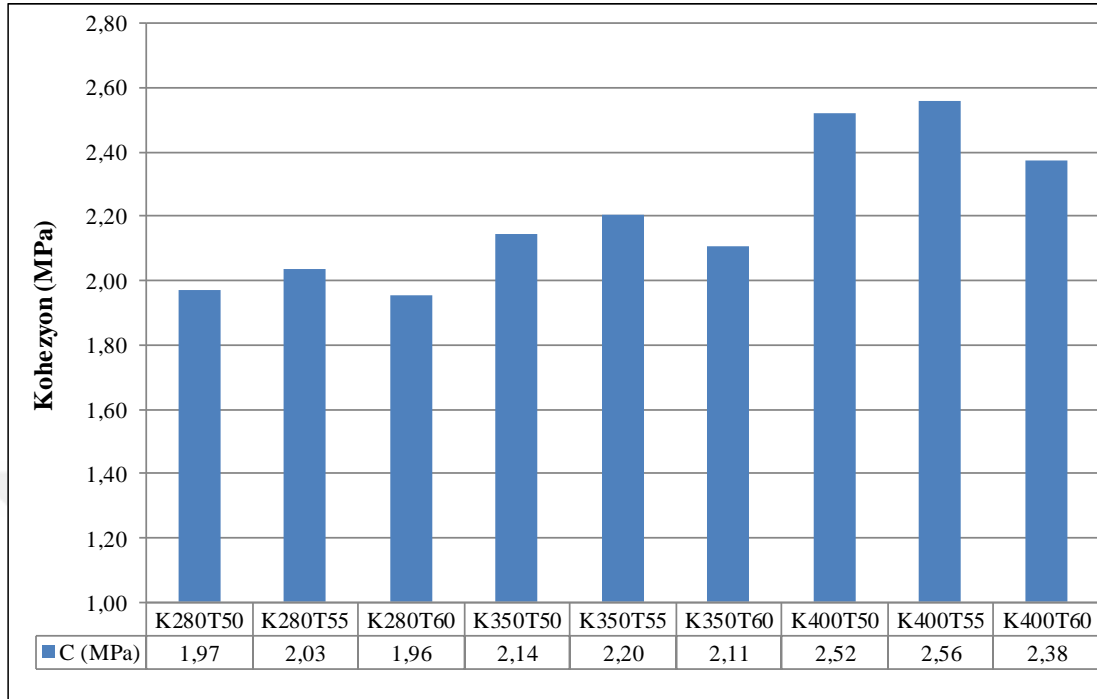
Hafif Beton Tasarımı	σ (MPa)	σ_n (MPa)	σ / σ_n
K280T50	11,86	1,18	10,05
K280T55	12,26	1,22	10,08
K280T60	11,78	1,17	10,06
K350T50	13,05	1,27	10,26
K350T55	13,49	1,30	10,37
K350T60	12,97	1,24	10,47
K400T50	16,22	1,43	11,33
K400T55	16,45	1,45	11,35
K400T60	15,35	1,34	11,44

Tablo 4.3’deki bulgular değerlendirildiğinde, hafif beton tasarımlarının yük taşıma kapasite oranlarının 10,05 ile 11,44 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Yük taşıma kapasite oranının normal betonlarda genellikle 6-7 değerlerinde, gevrek malzemelerde ise 3-4 değerlerinde olduğu görülebilmektedir. Çalışmada elde edilen hafif beton tasarımlarının bulgularından yola çıkarak, hafif betonların normal betonlara göre normal gerilme değerlerinin (σ_n) daha düşük olduğu fakat yük taşıma kapasite oranları bakımından daha yüksek değerler ortaya koyabileceği söylenebilir. Bu yük taşıma kapasitesindeki yüksek performans, tasarım içerisinde kullanılan agreganın gözenekli yapısının beraberinde getirdiği enerji sönümleme özelliği ile ilişkilendirilebilir.

4.8.5 Kohezyon analizi

Betonda kohezyon, beton veya harcı oluşturan partikülleri bir arada tutan bağ kuvveti olarak tanımlanabilmektedir. Bu kuvvet, matris yapıyı oluşturan materyallerinin birbirleriyle oluşturacakları bağın hangi seviyede olduğunun da sembolik bir göstergesi olarak düşünülebilir. Beton veya harç dayanımı çimento hamurunun kohezyonuna ve çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki adezyona bağlıdır [30]. Kohezyon değeri, betonun dayanım kriterlerini belirlemek veya değerlendirmek amacıyla, Mohr-Coulomb kriteri yaklaşımıyla elde edilen içsel gerilme değerleri içerisinde önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, çalışma

kapsamında elde edilmiş hafif beton örneklerine ait kohezyon değerleri Şekil 4.19'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



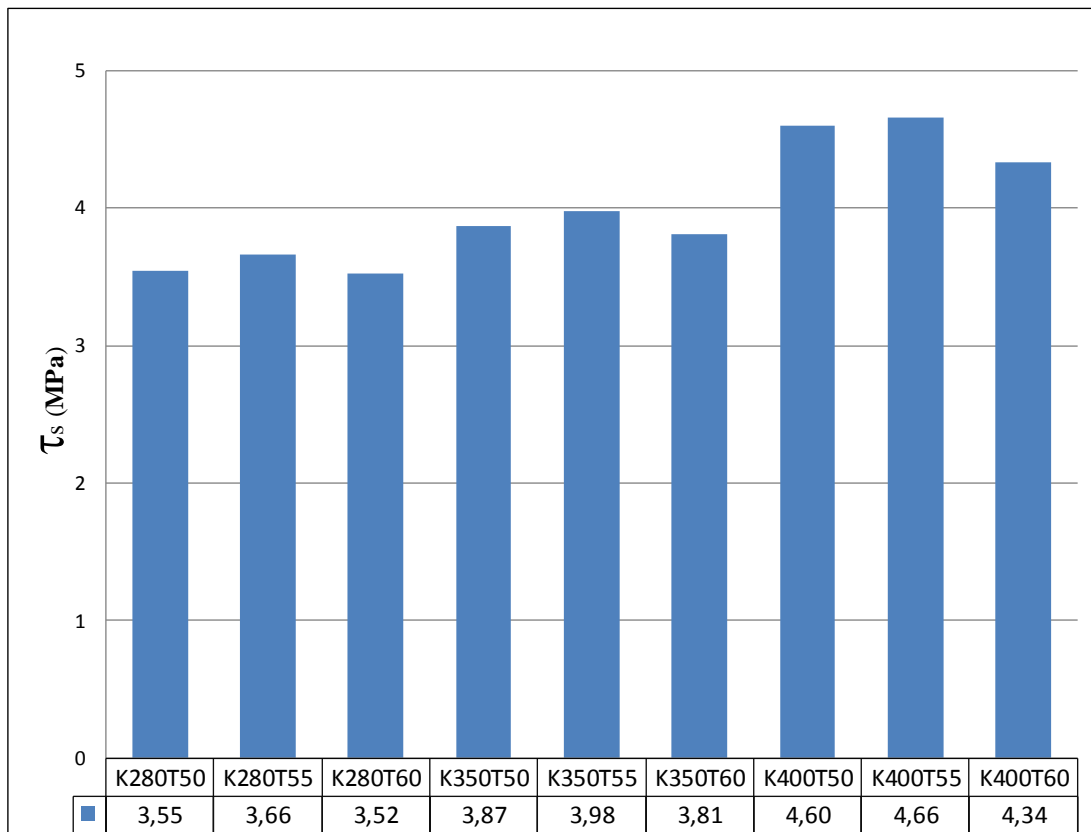
Şekil 4.19 : Hafif beton örneklerine ait kohezyon değerlerinin kıyaslanması.

Şekil 4.19 irdelendiğinde, çimento dozajının artmasıyla hafif beton tasarımlarına ait kohezyon değerlerinin artış eğiliminde olduğu fakat her bir 280, 350 ve 400 doz çimentolu tasarımlar kendi içinde değerlendirildiğinde T55 olarak kodlanmış karışımların en optimum kohezyon değerine sahip olduğu açıkça görülmektedir. T55 olarak kodlanmış hafif beton tasarımlarının basınç dayanım özellikleri bakımından da en yüksek değerleri verdiği (Şekil 4.1) düşünüldüğünde, basınç dayanımı ile kohezyon arasında doğrusal bir ilişki kurulabileceği görülmektedir. Ayrıca T60 olarak kodlanmış yüksek miktarda ince agrega içeren hafif beton tasarımlarında agrega yüzey alanının daha fazla olmasının, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın zayıflamasına ve kohezyon değerinde azalmaya neden olabileceği söylenebilir.

4.8.6 Kayma gerilmesi analizi

Kayma gerilmesi (τ_s), burulma etkisi altındaki bir malzemenin ilk kez kalıcı deformasyonlara uğradığı andaki yük olarak tanımlanabilmektedir. Mohr-Coulomb kriterine göre, kayma gerilmesini etkileyen parametreler normal gerilme, kohezyon ve içsel sürtünme açısıdır. Kayma gerilmesi değeri Mohr daireleri kullanılarak elde

edilebilmektedir. Ayrıca, normal gerilme ve kohezyondaki azalma, Mohr-Coulomb kriterine göre kayma gerilmesi parametresinde azalmaya yol açmaktadır. Diğer bir deyişle, kayma gerilmesi, kohezyon ve normal gerilme arasında doğrusal bir ilişki kurmak mümkün olabilmektedir. Bu durum Tablo 4.2’de açıkça görülebilmektedir. Kayma gerilmesi değeri, hafif beton tasarımlarının burulma etkisi altındaki davranışlarını daha iyi yorumlayabilmek için önemli bir parametre olarak kullanılabilir. Bu nedenle, çalışmada elde edilen hafif beton örneklerinin kayma gerilmesi değerleri Mohr-Coulomb kriterinden faydalanılarak hesaplanmış olup Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20 : Hafif beton örneklerine ait kayma gerilmesi değerlerinin kıyaslanması.

Kayma gerilmesi değerlerinin tasarımdaki çimento miktarının artmasıyla arttığı görülmekte olup, en yüksek değerler T55 karışımlarında elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 4.20 ile Tablo 4.3 birlikte irdelendiğinde, K400T55 tasarımında “4,66” olan kayma gerilmesi değerinin, değeri “1,45” olan normal gerilme değerine oranının yaklaşık “3” olduğu görülmektedir. Bu değer, elde edilen hafif beton tasarımının burulma etkisi altında enerji sönmüleme eşiğinin başka bir deyişle, kayma direncinin yüksek olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma, İzmir-Alaçatı bölgesinde geniş oluşum sergileyen Alaçatı taşının hafif agrega olarak hafif beton endüstrisinde kullanılabilirliğini irdelemek amacıyla yapılmıştır. Kullanılan agreganın ve üretilen hafif beton numunelerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

1. Kullanılan Alaçatı taşı agregasının 0-4, 4-8 ve 8-16 mm tane boyut aralığındaki etüv kurusu yoğunluklarının sırasıyla 1096, 950 ve 926 g/cm³, su emme değerlerinin ağırlıkça % 19,3, 18,22 ve 17,59 olduğu görülmüştür. Ayrıca agregaların DKY özgül ağırlıkları 0-4 mm için 2080, 4-8 mm için 2060 ve 8-16 mm için ise 1980 g/cm³ elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda ve TS EN 206:2013+A1 standardı gereksinimleri dikkate alındığında İzmir-Alaçatı taşı agregasının hafif beton tasarımlarında hafif agrega olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

2. Agregaların kendi içerisinde ve çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmesiyle oluşturulan hafif beton karışımlarının basınç dayanımları incelendiğinde K280T55, K350T55, K400T55 tasarımlarının sırasıyla 12,26, 13,49 ve 16,45 MPa 28. gün basınç dayanım değerleri elde edilmiş olup, belirtilen çimento dozajlarında maksimum değerler verdiği görülmüştür. Aynı tasarımların yarmada çekme dayanım değerleri ise K280T55 için 1,35 MPa, K350T55 için 1,44 MPa ve K400T55 için ise 1,59 MPa edilmiş olup, diğer tasarımlardan daha yüksek değerler vermiştir. Ayrıca basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki polinomial ilişki dikkate alınarak, hafif beton karışımları içerisinde bulunmayan farklı çimento dozajlarıyla oluşturulabilecek tasarımların basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanım değerleri ile ilgili hesaplamaların yapılabileceği görülmüştür.

3. Agregaların kendi içerisinde ağırlıkça yer değiştirilmesiyle farklı kombinasyonlarda oluşturulmuş, ince agrega miktarının karışım içerisindeki tüm agrega miktarına oranının %50, %55 ve %60 olduğu T50, T55, T60 olarak kodlanmış hafif beton tasarımlarında, orta agrega miktarı sabit tutularak optimum

ince agrega / iri agrega oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen basınç dayanım sonuçlarına göre grafiksel analiz yapılarak 280 doz çimentolu hafif beton numunelerinde “1,96” değeri, 350 doz için “1,95” değeri, 400 doz çimentolu hafif beton numunelerinde ise “1,68” değeri optimum ince / iri agrega oranı olarak elde edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, karışımdaki çimento hamuru arttıkça dayanım özelliğinin iyileşmesi için tasarımda ince / iri agrega oranının daha az olması gerektiği görülmüştür.

4. Hafif beton örneklerinin yapısal özelliklerini daha iyi irdelemek amacıyla, içsel gerilme değerleri Mohr-Coulomb kriterinden faydalanılarak elde edilmiş olup “normal gerilme”, “kohezyon” ve “kayma gerilmesi” değerleri ile basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve çimento dozajı değerleri arasında doğrusal bir ilişki kurulabileceği görülmüştür. Elde edilen veriler neticesinde hafif beton örneklerinin 1,17-1,45 MPa arasında ve düşük sayılabilecek normal gerilme (σ_n) değerlerine sahip olduğu fakat yük taşıma kapasitesi olarak irdelendiğinde, özellikle yük altında deformasyonların daha uzun sürede gerçekleşerek, normal betonlara kıyasla oransal olarak daha yüksek taşıma kapasitesine sahip olabileceği görülmüştür.

5. Yapılan hafif beton tasarımlarında elde edilen veriler doğrultusunda, TS EN 206:2013+A1’de yer alan hafif beton sınıflandırmalarından LC 8/9, LC 12/13 sınıfı dayanım değerlerini sağlayan, LC 16/18 sınıfının ise yaklaşık 1,5 MPa altında dayanım değeri veren yarı taşıyıcı özellikte hafif betonların üretilebileceği görülmüştür.

Çalışma kapsamında elde edilen hafif beton örneklerinin bulguları doğrultusunda, özellikle yapıların kat ve çatı döşemelerinde, prekast beton ürünlerinde ve panel duvarlar gibi alanlarda yarı taşıyıcı beton türevi olarak kullanılabilir. Bu sayede İzmir-Alaçatı taşı gibi doğal orijinli gözenekli hafif agregalar kullanılarak elde edilen hafif betonların tercih edilmesinin yapıların ısı performanslarının artırılması ve yapı ağırlığının azaltılması konusunda büyük ölçüde yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Elde edilen tasarımların yapısal anlamda kullanılabilmesi için standartların öngördüğü ölçüde dayanım özellikleri artırılmalı, elastisite modül hesapları yapılmalı ve durabilite özellikleri incelenmelidir. Ayrıca karışımlarda kireç taşı agregasıyla karma kullanımı sonucu taşıyıcı sınıfta hafif beton üretilip üretilemeyeceği araştırılmalıdır. İzmir-Alaçatı taşı volkanik-sedimenter özellik

göstererek bölgede katmanlanma şeklinde yer aldığından değişik lokasyonlardan ve derinliklerden çıkarılan agregalar sayısal değer bakımından farklı özellikler sergileyebileceğinden, kullanılmadan önce fiziksel ve mekanik özellikleri tekrardan incelenmelidir.

Sonuç olarak deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular ve yapılan analizler irdelendiğinde, İzmir-Alaçatı taşı agregalı hafif beton tasarımlarının inşaat sektöründe yarı taşıyıcı (orta dayanımlı) hafif beton olarak farklı ürün türevlerinin üretilmesi veya geliştirilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.





KAYNAKLAR

- [1] Şener, F. (1999). Yalıtımlı Hafif Yapı Hammaddeleri, *Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu*, 31-47, Ankara.
- [2] Gündüz, L. & Kalkan, Ş.O., (2016). İzmir Alaçatı Taşının Kuru Karışım Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği Üzerine Teknik Bir Analiz, *8.Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, 390-399, Kütahya.
- [3] Kornev, N.A., Kramar V.G. & Kudryavtsev A.A., (1980). Design Peculiarities of Prestressed Supporting Constructions from Concrete on Porous Aggregates, *Second International Congress on Lightweight Concrete, The Concrete Society, The Construction Press*, 141-151, London, U.K.
- [4] Gündüz, L. & Kalkan, Ş.O. & Ertan, F. (2017). Mikronize edilmiş İzmir-Alaçatı Alapetra taşının yalıtımlı kompozit dolgu harcı üretiminde kullanımı üzerine bir inceleme. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(2), 503-514. Doi:10.18466/cbayarfbe.319931
- [5] TS EN 206:2013+A1. (2013). *Beton, Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [6] TS EN 1097-6. (2013). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [7] TS EN 1097-3. (2013). *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [8] Chandra, S. & Berntsson, L. (2002). *Lightweight Aggregate Concrete*. Norwich: Noyer Publications.
- [9] Ketin, İ. (1983). *Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış*. Gümüşsuyu, İstanbul: İTÜ Matbaası.
- [10] Gündüz, L. & Şapçı, N. (2005). Pomza Madenciliği, Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi (Gelişen Yeni Bir Sektör), *19.Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2005*, 397-407, İzmir, Türkiye.
- [11] <https://www.rome.info/pictures/pantheon/roman-pantheon/> (Erişim Tarihi: 28.06.2019)
- [12] Ries, J.P., Speck, J. & Harmon, K.S. (2010). Lightweight Aggregate Optimizes The Sustainability of Concrete, Through Weight Reduction, Internal Curing, Extended Service Life, and Lower Carbon Footprint. *Concrete Sustainability Conference, National Ready Mixed Concrete Assosiation*, Tempe, Arizona.
- [13] Castrodale, R.W. (2006). Lightweight High Performance Concrete for Bridge Decks. *Presentation in Virginia Concrete Conference*, Richmond.
- [14] Yolcu, C. & Girgin, Z.C. (2017). Dünyada yapay hafif agregalı yapısal beton uygulamaları ve doğal pomza agreganın kullanılabilirliği. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 1(2), 59-67.

- [15] Dikici, T. (2010). *Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [16] Neville, A.M. (1995). *Properties of Concrete*. England: Addison Wesley Longman Limited.
- [17] ACI Committee 213R-14. (2014). *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*, American Concrete Institute, Michigan.
- [18] Uygunoglu, T. (2008). *Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri* (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [19] Hüsem, M. (2003). The effect of bond strenghts between lightweight and ordinary aggregate-mortar, aggregate-cement paste on the mechanical properties of concrete. *Materials Science and Engineering* 363, 152-158.
- [20] Ünal, O. & Uygunoğlu, T. (2007). Diyatomitin hafif beton üretiminde kullanılması. *İmo Teknik Dergi*, 18(86), 4025-4034.
- [21] MGS, (2013). *Çed Raporu: Namık Kemal AYDOĞDU*, (İR: 51232 Ruhsat Numaralı II. Grup Kalker Ocağı Rehabilitasyonu, Kırma Eleme Tesisi ve Dekoratif Taş Ocağı Kapasite Artışı Projesi). MGS Proje Müşavirlik Mühendislik Tic.Ltd.Şti., Ankara.
- [22] Akay, E. (2012). *Kaya Analiz Raporu*. (Rapor No: B.30.2.DEÜ.0.M5.12.00/) Dokuz Eylül Üniversitesi/Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir, Erişim adresi: http://www.alapietra.com/assets/alacati_tuf_rapor.pdf
- [23] TS EN 197-1 Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [24] TS EN 12350-2. (2010) Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [25] TS EN 12390-3. (2010) Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [26] TS EN 12390-6. (2010) Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [27] Heyman, J. (1972). *Coulombs Memoir on Statics*. London: Cambridge University Press.
- [28] Arıoğlu, E., Girgin, C. & Arıoğlu, N. (2002) Yapı Merkezi Araştırma Raporu *Betonda Çekme / Basınç Dayanım Oranının İrdelenmesi*. İstanbul, Erişim adresi: <https://yapimerkezi.com.tr/PdfDosyaları/8a741b8b-77ea-4d73-9182-6dddf893560-9e3a01ef-e165-4b8b-95c8-7cd39f3b10cc.pdf>
- [29] Kalkan, Ş.O. (2017). *Technical Investgation for The Use of Textile Waste Fiber Types in New Generation Composite Plasters* (Yüksek lisans tezi). Kâtip Çelebi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [30] Neville, A.M. (1999). *Properties of Concrete*. London: Pearson Education Ltd.

ÖZGEÇMİŞ



Adı ve Soyadı: Ali İhsan ÖZDİŞÇİ
Doğum Yeri ve Tarihi: Konak, 06.03.1990
Adres: Beyazevler Mah. 556 Sk. No:35/1 Gazimir/İZMİR
E-Mail: aliozdisci@gmail.com
Lisans: Pamukkale Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü 2009-2013.

İş Deneyimleri:

- Kaanlab Zemin ve Yapı Malzemeleri Test Laboratuvarı Ltd. Şti. (3 yıl, 3 ay) İnşaat Mühendisi, İzmir/Türkiye.
- Kamer Kentsel Dönüşüm Mimarlık Mühendislik İnşaat AŞ (2 yıl) İnşaat Mühendisi, İzmir/Türkiye.

Yayımlar:

- Özdişçi A., Gündüz L. (2019), An Analysis on The Usability of İzmir-Alaçatı Stone Aggregates for the Lightweight Concrete Production 4th International Conference on Civil, Environmental, Geology and Mining Engineering, April 20-22, Trabzon, Turkey.