

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK PERFORMANSLI PREFABRİKE
HAFİF BETONALARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Meryem BİLGİÇ

Danışman: Doç.Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2009**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
2.1. Agrega	14
2.1.1. Hafif Agrega	15
2.1.1.1. Pomza.....	16
2.2. Türkiye'nin Pomza Rezerv Potansiyeli.....	18
2.3. Pomzanın Kullanım Alanları.....	18
2.4. Hafif Beton.....	19
2.4.1. Hafif Betonların Sınıflandırılması ve Önemi.....	21
2.5. Uçucu Kül ve Silis Dumanının Beton Üzerindeki Etkileri.....	22
2.6. Yüksek Performanslı Betonlar	26
2.7. Yüksek Performanslı Hafif Beton.....	27
2.9. Alkali – Silika Reaksiyonu	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Agrega.....	29
3.1.2. Çimento.....	29

3.1.3. Kimyasal Katkı	30
3.1.4. Uçucu Kül	31
3.1.5. Silis Dumanı.....	31
3.1.6. Su	32
3.1.7. Na ₂ SO ₄ Çözeltisinin Özellikleri.....	32
3.1.8. Çalışmada Kullanılan Araçlar ve Gereçler	33
3.2. Yöntem.....	33
3.2.1. Agregada Örneklerinin Alınması.....	33
3.2.1.1. Agregada Fiziksel Özelliklerin Tayini	34
3.2.1.2. Elek Analizi.....	34
3.2.1.3. Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Deneyi.....	35
3.2.1.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme	36
3.2.1.5. Sodyum Sülfat ile Dayanıklılık Tayini	36
3.2.2. Taze Beton Deneyleri.....	36
3.2.2.1. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık.....	36
3.2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	37
3.2.3.1. Basınç Dayanımı	37
3.2.3.2. Eğilme Dayanımı	38
3.2.3.3. Özgül Ağırlık, Su Emme.....	39
3.2.3.4. Beton Yüzey Sertliği Yolu İle Yaklaşık Basınç Dayanımı.....	39
3.2.3.5. Ultrases Deneyi	39
3.2.3.6. Radyasyon Zayıflatma Katsayısının Ölçülmesi.....	41
3.2.3.7. Alkali Dayanıklılık Deneyi	42
3.2.3.8. Sülfata Dayanıklılık Deneyi.....	42
3.2.4. Beton Karışım Hesapları ve Beton Üretimi	43
3.2.4.1. Beton Karışım Hesapları.....	43

3.2.4.2 Beton Üretimi.....	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	49
4.1. Agrega Deney Sonuçları	49
4.1.1. Elek Analizine İlişkin Sonuçlar	49
4.1.2. Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Deneyi.....	50
4.1.3. Özgül Ağırlık ve Su Emmeye İlişkin Sonuçlar.....	51
4.1.4. Agregaların Sodyum Sülfata Karşı Dayanıklılığı	54
4.2. Taze Beton Deneyine İlişkin Sonuçlar.....	55
4.3.Sertleşmiş Beton Deneylerine İlişkin Sonuçlar.....	56
4.3.1. Sertleşmiş Betonun Birim Ağırlığı.....	56
4.3.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları.....	56
4.3.3. Eğilme Dayanımı Sonuçları	57
4.3.4. Sertleşmiş Betonların Özgül Ağırlıkları ve Su Emme Sonuçları.....	58
4.3.5. Yüzey Sertlik Dayanımı Sonuçları.....	59
4.3.6. Ultrases Deney Sonuçları.....	59
4.3.7. Radyasyon Zayıflatma Katsayısının Ölçüm Değerleri	60
4.3.8. Alkali Dayanıklılık Deney Sonuçları.....	60
4.3.9. Sülfat Dayanıklılık Deney Sonuçları	61
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	62
6. KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	71

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK PERFORMANSLI PREFABRİKE HAFİF BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Meryem BİLGİÇ

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Jüri: Prof.Dr. Mümin FİLİZ

Doç.Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN (Danışman)

Doç.Dr. İskender AKKURT

İnşaat sektöründe yüksek performanslı hafif betonların kullanılması ile yapının ölü ağırlığının ve kullanılacak demir donatı alanının azalacağı ortaya konulmuştur. Betonun hafif ve yüksek dayanımlı olması için pomzanın tek başına kullanılması yeterli değildir. Diğer yüksek performanslı betonlarda da olduğu gibi kimyasal ve mineral katkıları kullanmak gerekmektedir.

Betonarme yapılarda taşıyıcı hafif beton kullanımının; depreme karşı davranış ve yangın dayanımı, ağırlıklarının düşük olması, yalıtım özelliğinin üstünlüğü gibi avantajları vardır. Isı ve ses yalıtımının sağlanmasının yanı sıra, birim ağırlıklarının normal betona nazaran çok daha az olması nedeni ile hafif yapı malzemeleri ile yapılarda hafif beton kullanımı birçok avantajlar sağlamaktadır. Normal beton kadar yaygın olmamakla beraber, birçok gelişmiş ülkelerde yüksek dayanımlı hafif beton üretimi ve kullanımı tercih edilmektedir. Ülkemizde en yaygın hafif agrega malzemesi rezervi fazla olması sebebi ile pomzadır. Pomzanın yapı malzemesi olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu amaçla; çalışmada, Isparta yöresinden elde edilen pomza agregalı, yüksek performanslı hafif beton (YPHB) ile kontrol betonları (NB) üretilmiştir. Betonların fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Çalışmada tamamı normal agregadan oluşan kontrol betonları baz alınarak BS30 betonu için karışımlar hesaplanmıştır. Agregata ve katkı değişiminin betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, radyasyon geçirgenliği ve ASR etkisini incelemek için karışımdaki agregata yüzdesine bağlı kalınarak pomza ve agregata belli oranlarda değiştirilmiş ve (YPHB) beton serisi üretilmiştir. Araştırmada bulunan sonuçlar karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek performanslı hafif beton, Pomza,

2009, 71 sayfa

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF PREFABRICATED HIGH PERFORMANCE LIGHTWEIGHT CONCRETE

Meryem BİLGİÇ

**Süleyman Demirel Üniversity Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Construction Teaching**

Thesis Committee: Prof.Dr. Mümin FİLİZ

Assoc. Prof. Şemsettin KILINÇARSLAN (Supervisor)

Assoc. Prof. İskender AKKURT

It is verified that, by using high-performance light-weight concrete, dead weight of the structure and area of the reinforcement will be reduced. Using only pumice stone is not enough for the concrete to be light-weight and high performance. Just like the other high performance concretes, chemical and mineral additives are needed to be used.

Usage of light-weight bearing concrete in reinforced concrete structures has the advantages of behavior against earthquake, fire-resistance, less dead loads, and superiority of isolation. Besides providing heat and acoustic isolation, as a result of having less unit weight than conventional concrete, with light-weight construction materials using light-weight concrete provides many advantages. In many developed countries high performance light-weight concrete is preferred though not common as conventional concrete still. In our country widely used light aggregate material is pumice stone because of large amount of reserve. Usage of pumice stone is becoming widespread.

For this study, control concretes (CN) and high performance light-weight concrete (HPLC) containing pumice stone from Isparta region as aggregate are prepared. Physical and mechanical properties of the concretes are investigated comparatively. Using control concretes composed of normal aggregates completely as base, for BS30 concrete mixtures are calculated. To investigate the effects of ratio of aggregates and additives in the physical and mechanical properties, radiation transmissivity and ASR of the concrete, keeping the aggregate ratio, pumice stone and aggregate changed in definite ratios and finally series of HPLC is produced. Results found out in the study are discussed comparatively.

Key Words: High performance light-weight concrete, pumice stone

2009, 71 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi için gerekli laboratuvar olanaklarının sağlanmasında desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Mümin FİLİZ' e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında benden yardımını esirgemeyen Hasan GÖKTANIR' a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

1638 YL 08 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Meryem BİLGİÇ
ISPARTA, 2009

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Elek analizinde kullanılan elek takımı, elek sarsma makinesi ve terazi	35
Şekil 3.2. Agregaların kurutulmasında kullanılan etüv.....	35
Şekil 3.3. Basınç deneyinde kullanılan 300 ton kapasiteli beton presisi.....	38
Şekil 3.4. Eğilme deney düzeneği.....	38
Şekil 3.5. Ultrases aleti	40
Şekil 3.6. Radyasyon deneyinde kullanılan radyasyon sayacı.....	41
Şekil 3.7. NB beton serisinin hacimce karışım oranları.....	44
Şekil 3.8. PB beton serisinin hacimce karışım oranları	45
Şekil 3.9. YPHB beton serisinin hacimce karışım oranları.....	45
Şekil 3.10. Beton üretiminde kullanılan beton mikseri.....	46
Şekil 3.11. Beton üretiminde kullanılan 150mm kübik kalıplar ve sarsma tablası....	47
Şekil 3.12. Kür odasında saklanan numuneler	47
Şekil 3.13. Kür odasında saklanan numuneler	48
Şekil 4.1. Agregaların birim ağırlık değerleri	50
Şekil 4.2. Agregaların özgül ağırlık deney sonuçları (4,76 mm üstü)	52
Şekil 4.3. Agregaların özgül ağırlıkları (4,76 mm altı).....	53
Şekil 4.4. Agregaların su emme yüzdeleri	54
Şekil 4.5. Betonların basınç dayanımları	57
Şekil 4.6. Eğilme deney sonucu kırılma biçimi	58
Şekil 4.7. Betonların su emme oranları.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal özellikleri.....	30
Çizelge 3.2. CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	30
Çizelge 3.3. Uçucu külün kimyasal özellikleri	31
Çizelge 3.4. Silis dumanının kimyasal özellikleri.....	32
Çizelge 3.5. SDÜ şebeke suyunun kimyasal analizleri.....	32
Çizelge 3.6. Na ₂ SO ₄ çözeltisinin kimyasal birleşimleri.....	33
Çizelge 3.7. Üretilecek betonların kodu ve karışım malzeme miktarları.....	44
Çizelge 3.8. Üretilen betonların kodları	45
Çizelge 4.1. Elek analizine ilişkin sonuçlar (0 mm-19,1 mm).....	49
Çizelge 4.2. Agregaların incelik modülü	49
Çizelge 4.3. Agregalar birim ağırlık deneyi sonuç değerleri	51
Çizelge 4.4. Agregaların (4,76 mm üstü) özgül ağırlık deney sonuçları	52
Çizelge 4.5. Agregaların özgül ağırlıkları (4,76 mm altı).....	53
Çizelge 4.6. Agregaların (4,76 mm üstü) su emme deney sonuçları	53
Çizelge 4.7. Agregaların (4,76 mm altı) su emme deney sonuçları.....	54
Çizelge 4.8. Sodyum Sülfat ile dayanıklılık tayini deney sonuçları	55
Çizelge 4.9. Betonların birim ağırlığı ve su emme yüzdeleri	55
Çizelge 4.10. Üretilen beton numunelerin çökme miktarları.....	55
Çizelge 4.11. Sertleşmiş beton birim ağırlık değerleri.....	55
Çizelge 4.12. Sertleşmiş betonların basınç dayanımları	55
Çizelge 4.13. Donatısız betonların eğilme dayanım değerleri	58
Çizelge 4.14. Donatılı betonların eğilme dayanım değerleri	58
Çizelge 4.15. Betonların özgül ağırlık ve su emme sonuçları.....	58
Çizelge 4.16. Betonların yüzey sertlik dayanım sonuçları.....	59
Çizelge 4.17. Betonların ultrases sonuçları.....	59
Çizelge 4.18. ⁶⁰ Co kaynağı ile numune üzerinden alınan soğurma katsayısı	60
Çizelge 4.19. ¹³⁷ Cs kaynağı ile numune üzerinden alınan soğurma katsayısı	60
Çizelge 4.20. Alkali dayanım sonuçları	61
Çizelge 4.19. Sülfat dayanıklılık deney sonuçları.....	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

F_c	Basınç dayanımı
F	Kırılma yükü
A_c	Numunenin kesit alanı
f_{cf}	Eğilme dayanımı
L	Mesnet silindirleri arasındaki açıklık
d₁, d₂	Numunenin en kesit boyları
V	Ultrases hızı
L	Numune boyu
t	Ultrases geçiş süresi
Ç	Karışımdaki çimento miktarı
δ_ç	Çimentonun yoğunluğu
A₁	Karışımdaki ince malzeme miktarı
δ_{A1}	İnce malzemenin yoğunluğu
A₂	Karışımdaki kaba malzeme miktarı
δ_{A2}	Kaba malzemenin yoğunluğu
H	Karışımdaki toplam hava miktarı
I	Soğurucudan çıkan katsayı
I₀	Soğurucuya giren radyasyonun şiddeti
X	Soğurucunun kalınlığını
μ	Lineer soğurma katsayısı
ASTM C	Amerikan Beton Test Metotları Standardı
TS	Türk standartları
ASR	Alkali – Silika Reaksiyonu
NB	Normal Beton
YPB	Yüksek Performanslı Beton
PB	Hafif Beton
YPHB	Yüksek Performanslı Hafif Beton
YPDHB	Yüksek Performanslı Donatılı Hafif Beton
DNB	Donatılı Normal Beton
DPB	Donatılı Pomzalı Beton
N	Normal Agrega
P	Pomza
PÇ	Portland Çimentosu
UK	Uçucu Kül
SD	Silis Dumanı

1.GİRİŞ

Beton; bileşenleri olan çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli miktardaki karışımlarından meydana gelmektedir. Kullanışlarına göre çok çeşitli tiplerde beton elde etmek mümkündür. Betonlu oluşturan ham maddeler doğada bol miktarda bulunmaktadır. Ucuz sağlanması ve kolay şekil verilmesinin yanı sıra dış etkenlere karşı dayanıklı olması bakımından beton yaygın kullanılan yapı malzemesi olmuştur (Baradan, 1997).

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte beton endüstrisinde de ilerlemeler olmuş ve beton üretimindeki bu yenilikler beton teknolojisine özel betonlar adı ile girmiştir. Özel betonlar, kullanım yerlerine göre farklı beklentileri karşılamak amacıyla üretilen betonlardır. Ağır beton, taşıyıcı hafif beton, yüksek akıcılığa sahip beton, yalıtım özellikli beton bu farklı özelliklerden bazılarıdır (Yazıcıoğlu vd., 2006).

Özel beton çeşitlerinden biride hafif betonlardır. Ağırlığı az, yalıtımı yüksek, dayanımı yeterli ve yanmaz bir madde olan hafif beton geleceğin mimarlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Normal betondan farkı, hafifliği ve ısı yalıtımı sağlayan boşlukları bulunmasıdır. Boşluklar, boşluklu agrega kullanılarak (bims veya pomza taşı, genişmiş kil, cüruf, perlit v.b), boşluklu içyapı oluşturularak veya ince harç içinde gaz kabarcıkları oluşturmak yolu ile sağlanmaktadır (Topçu, 2006).

hafif agregalı beton, uzun yıllardır duvar ve blok eleman üretiminde kullanılan bir malzeme olarak görülmüştür. 1950'lerden sonra hafif agregalı betonun taşıyıcı olarak kullanılması önem kazanmıştır. Yapay hafif agregaların üretimine başlanması ile yüksek dayanımlı hafif agregalı betonlar üretilmeye başlanmıştır.

Günümüzde kullanılmakta olan hafif betonları üretmek için beton içinde çeşitli yöntemler ile boşluk oluşturmak genel kuraldır. Boşluk oluşturma, harç içinde ya da iri agrega daneleri arasında yapılır. Hafif betonlar öncelikle ekonomik olmaları nedeniyle kullanılmaktadırlar. Çok katlı yapıların artması sonucu, yapı yüklerinde azalma sağlama gereği ortaya çıkmaktadır. Bu gereksinim hafif agregalı beton kullanarak giderilmektedir. Böylece kullanılacak çelik gereksinimi azalmakta,

temellerde ve diğer taşıyıcı yapı kısımlarında tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca depreme karşı daha güvenilir yapı elde edilmektedir.

Betonun ağırlık olarak hafif olması ile ağırlığının azalması sonucunda taşıma kolaylığı ve inşaat yerinde montaj kolaylığı sağlamaktadır. Üstün yanlarının yanında, olumsuz ve sorun oluşturan yanları da vardır. Hafif agregaların pürüzlü yüzeye sahip olması nedeniyle, doğal agregaya göre işlenebilirliği daha az beton elde edilebilmektedir. Belirli bir dayanım sağlamak için çimento gereksinimi daha fazla olmaktadır. Diğer bir olumsuz yanı ise yapay hafif agregaların doğal agregalara oranla pahalı olmalarıdır. Ancak bu nedenle oluşan maliyet artışı, taşıma masraflarının azaltılması ile dengelenmektedir.

Hafif agregalı beton üretimi sırasında daha dikkatli olunması gerekmektedir. Boşluklu olmaları nedeniyle dayanımları düşük, su emme oranları yüksek ve elastisite modülleri düşüktür. Bunun için taşıyıcı betonarme eleman üretiminde hafif beton kullanılacaksa, yapılacak hesaplarda farklı kriterler kullanmak gerekir.

Betonun tüm mekanik özellikleri arasında en önemli olanı basınç dayanımıdır. Ancak betonun çekme dayanımı oldukça zayıftır. Malzemenin bu özelliği göz önüne alınarak betonarme yapı sistemi doğmuştur. Beton gevrek bir malzemedir ve çekme dayanımının çok küçük olması nedeniyle, pratikte beton yalnızca basınca çalıştırılır. Basınç dayanımı betonun tüm olumlu nitelikleriyle paralellik gösterir. Ayrıca betonun kalitesi basınç dayanımı ile tanımlanır. Betonarme yapılarda genel olarak 28 günlük dayanım esas alınarak, emniyet gerilmeleri saptanmaktadır.

Günümüzde çeşitli endüstriyel atıklar betonda puzolanik malzeme olarak kullanılmaktadır. Puzolanlar tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıkta ve nemli ortamlarda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği gösteren malzeme olarak tanımlanmaktadır. Puzolanlar betonlarda mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Mineral katkılar betonun dayanımını arttırarak, akıcılığını sağlamak için kullanılmaktadır. Beton veya çimento içerisine puzolanik malzeme eklenmesinin hidrasyon ısısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite

sağlaması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararlar sağladığı bilinmektedir (Subaşı vd., 2008).

Ülkemizde endüstriyel atıklardan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve diğer doğal puzolanlar, mineral katkı maddesi olarak bilinmektedirler. Harç ve beton üretiminde genellikle ikinci bağlayıcı maddesi olarak portland çimentosunun bir kısmı yerine ya da ilave olarak bazen de çimentoya önceden karıştırılarak katkı çimento şeklinde kullanılmaktadırlar. Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri, portland çimentosuna benzer minerolojik ve kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahiptirler. Buna rağmen büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri yoktur. Bu maddeler puzolanik aktiviteleri nedeniyle hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirmektedirler. Böylece betonun çeşitli özellikleri iyileştirilirken, puzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını sağlarlar ve agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artması ile yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir (Özcan, 2005).

Agregalar betonun yaklaşık %70-80'ini oluşturduğu için taşıyıcı hafif beton üretiminin bilinen en yaygın metodu boşluklu hafif agrega kullanmaktır. Beton bileşiminde agregaların bu denli yüksek oranda kullanılmasından dolayı betonun mekanik ve diğer özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu bir gerçektir (Mindess vd., 1987). Beton niteliği üzerinde agrega özelliklerinin etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Giaccio vd., 1992; Nilsen vd., 1995). Beton basınç dayanımının esasen agrega hacmi ve özellikleri tarafından etkilendiğini ortaya koymuşlardır (Yang vd., 1996). Çalışmalarında hafif agregaların hava boşlukları sayesinde üretilen betonun daha yüksek dayanım/ağırlık oranına, daha iyi yarmada çekme dayanımı kapasitesine, düşük ısıl genleşme katsayısına, üstün nitelikli ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahip olduğunu rapor etmişlerdir (Al-Khaiat vd., 1998).

Taşıyıcı hafif beton; agregasının tamamı veya bir kısmı hafif boşluklu olan, sürekli granülometriye sahip, çimento hamuru normal betondakiyle aynı özellikte ve

dayanım değeri yüksek olan betondur. Normal betonda olduğu gibi basınç dayanımını etkileyen en önemli faktör su/çimento oranıdır (TSE, 1997).

Taşıyıcı hafif betonlar, sunduğu teknik, ekonomik ve çevresel avantajlardan dolayı çok yönlü bir malzemedir (Hague, 2004). Günümüzde taşıyıcı hafif betonlar özellikle bir yapının ölü yükünün azaltılmasında ve kullanılacak betonarme yapı elemanlarının kesit alanlarının daraltılmasında tercih edilmektedir. Buna bağlı olarak yüksek yapıların efektif kullanım alanlarının ve açıklıklarının artırılmasında etkin rol oynamaktadır (Kok, 2002). Bunun yanında taşıyıcı hafif betonlar duvar panel ve blokların inşasında, çatı katı döşemelerinde, köprü açıklıklarında, vb. elemanların üretiminde kullanılmaktadır. Bu amaçlarla taşıyıcı hafif beton üretmek özellikle deprem bölgelerinde yapılar inşa etmek için tercih edilmektedir (Sari, 2005).

Kullanılan malzemenin hafif olmasının yansıra, bu malzemelerde yalıtım, basınca, donmaya aşınmaya, kimyasal etkilere mukavemet, elastik olma ve kolay bağlanabilme gibi özellikler aranmıştır. Bu özelliklere yanıt veren ve inşaat sektörünün temel elemanı haline gelen tuğla yerine, inşaat sanayinin gelişmesi ve modern tekniklerin ortaya çıkması ile günümüzde yüksek dayanım, büyük boyutlu hafif bileşenlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Modern teknikler; bina elemanlarının yüksek mekanizasyon ve otomasyonla iklim şartlarına bağlı kalmaksızın, inşaat bölgesindeki işlemlere gerek duyulmayacak şekilde yüksek verimlilikte üretilmesini gerektirmektedir.

Silis dumanı gibi ultra incelikteki tanelerin kullanımı, yoğunluğun artırılması dolayısıyla boşlukların azaltılması taze betonun stabilitesinin geliştirilmesi için önemlidir. Böylece dürabilite iyileştirilerek dayanım yükseltilir. Silis dumanı veya diğer bir deyişle mikrosilika, silis ve ferrosilis endüstrilerinin bir yan ürünüdür; 1950'lerden beri betonun özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu tanelerin etkili olabilmesi için, beton içinde iyi bir dağılma gerekmektedir(Şimşek, 2000).

Yakın zamandaki araştırmalar, betondaki ara yüzeylerin başlıca iki yönünü ortaya koymuştur. Bunlar; ara yüzey bölgesinin mikro yapısı, beton özelliklerine olan etkileri ve sürekli ortamlar mekaniği ile kırılma mekaniğine dayanan beton özelliklerine ara yüzeylerin etkilerini gösteren modellerdir. Agrega ile çimento

hamuru arasındaki temas yüzeyi betonda en zayıf halka olduğundan betonun mekanik davranışı ara yüzey bölgesinin özelliklerinden belirgin biçimde etkilenirler. Söz konusu davranış geçiş bölgesinin özelliklerine çok duyarlıdır (Şimşek, 2000). Agregas matris ara yüzeylerindeki bağ çatlaklarının gelişmesi betonun plastik davranışında önemli bir işleve sahiptir. Toplam şekil değiştirmenin önemli bir bölümü ara yüzeylerde yoğunlaşır ve ara yüzey çatlaklarının köprülenmesiyle göçme matriste tamamlanır.

Yapının bozulmasına yol açan etmenler fiziksel, kimyasal ve mekanik kökenli olabilir. Mekanik yolla oluşan hasarlar arasında darbe, aşınma, erozyon ve oyulma etkileri sayılabilir. Kimyasal etkenler, dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir. Bunlar arasında alkali-silika reaksiyonu, sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir. Bozulmanın fiziksel nedenleri ise; donma-çözülme, çözücü tuzlar, yüksek sıcaklıklar vb. etkilere sahiptir. Betonun değişik kökenli iç ve dış etkenlerle bozulma nedenleri aşağıda verilmiştir (Baradan ve Yazıcı, 2003).

Fiziksel ve Mekanik Etkenler

- Donma – Çözülme
- Deniz suyu
- Buz çözücü tuzlar
- Erozyon, aşınma ve oyulma
- Yangın, yüksek sıcaklık

Kimyasal ve Biyolojik Etkenler

- Asit ve tuzların çimento ile reaksiyona girmesi
- Betona sülfat etkisi
- Gecikme Etrenit oluşumu (DEF).
- Alkali – Silika Reaksiyonu (ASR).

Geçirimsizlik ile betonun durabilitesi arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Geçirimsiz ve boşluksuz bir beton üretimi ile donatı korozyonuna, asit, sülfat, don ve alkali reaktivitesine karşı gereken önlem alınmış olunur. Maksimum su /çimento oranı ile minimum çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli ve boyut dağılımının uygun olması gereklidir. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle durabiliteye göre tasarımı bu iki etkene göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleştirilebileceği doğrusal olarak beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır. Su/çimento oranı olabildiğince düşük beton, geçirimsiz beton, kılcal boşlukları azaltılmış betondur (Erdoğan, 2003).

Yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi için kalıcı olmasına gereklidir. Beton veya betonarme elemanların deprem ya da aşırı yüklemenin etkisi dışında da zamanla bozulmaları söz konusudur. Bu nedenle günümüzde, tasarım yükleri için yeterli dayanımı sağlayacak betonun aynı zamanda dayanıklı olacağı görüşü terk edilmiştir. Başlangıç koşullarına göre tasarlanan tesis inşaatları belli bir zaman sonra dış etkenlerden bozularak özelliklerini kaybederler. Yükler açısından istenilen dayanımı sağlayan kaliteli bir betonarme eleman bile tasarım aşamasında dikkate alınmamış şiddetli etkiler altında beklenmedik biçimde kısa sürede bozulurlar ya da büyük bakım, onarım masraflarına yol açabilirler. Yapının bozulması, dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir. Bunlar arasında alkali-silika reaksiyonu (ASR), sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir (Taşdemir, 2005) .

Yüksek performans; dayanım, dayanıklılık ve hacimsel stabilite olmak üzere betonun olmazsa olmaz en önemli karakteristiğidir. Bu karakteristiğin, betonun geleneksel bileşenleri ile sağlanması ve daha önemlisi sürdürülebilir kılınması ancak belli bir dereceye kadar mümkündür. Dayanımı yüksek ve aynı zamanda dayanıklı bir beton üretebilmenin yolu, beton ile uğraşanların öncelikle alışlagelmiş düşünce yapılarını güncelleştirmeleri ve devamında beton teknolojisinin gereklerini yerine

getirmeleriyle mümkündür. Bu noktada, betonun geleneksel bileşenlerine ilave olarak katkı maddelerinin kullanımı gereği doğmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde, yapılardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla yapıların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir.

Yüksek performanslı hafif betonların taşıyıcı eleman olarak kullanılması son derece önemlidir. Bunun için taşıyıcılık özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle üretilecek olan yüksek performanslı hafif beton ile kiriş, kolon, perde gibi taşıyıcı sistemlerin ve bunların tek tek taşıma kapasiteleri saptanması ve daha sonra bu elemanlardan oluşturulacak taşıyıcı çerçevelerin yanal yükler altındaki davranışlarının tespit edilmesi gerekmektedir (Nilsen, 1995).

Betonarme yapılarda taşıyıcı hafif beton kullanımının; depreme karşı davranış ve yangın dayanımı ile ağırlıklarının düşük olması yanında yalıtım özelliğinin iyi olması gibi üstünlükleri de vardır. Normal beton kadar yaygın olmamakla birlikte, birçok gelişmiş ülkede yüksek dayanımlı hafif beton üretimi ve kullanımı tercih edilmektedir (Ersoy, 2001).

Taşıyıcı hafif beton, yıllardır yapısal amaçlar için kullanılmaktadır. Günümüzde taşıyıcı hafif betonlar yapının ölü yükünü azaltmakta ve kullanılacak betonarme yapı elemanlarının alanlarının küçültülmesine nedendiler. Bununla beraber özellikle yüksek yapıların kullanım alanlarının ve açıklıklarının arttırılmasında da etkin rol oynamaktadır (Kılınçarslan vd., 2005).

Taşıyıcı hafif beton üretiminin bilinen en yaygın metot boşluklu hafif agrega kullanmaktır. Beton niteliği üzerinde agrega özelliklerinin etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Nevile, 2002).

Ayrıca çağın gereksinimlerine uygun olarak inşaat sektöründe artan talebi karşılamak amacıyla seri üretim ve sanayileşme gereksinimi artmaktadır. Bu da prefabrikasyonu

oluşturmuştur. Seri üretim elemanlarının çabuk monte edilebilir duruma gelmesi, stoklama alanının çabuk boşaltılabilmesi, prefabrikasyonun ekonomik sorunlarındanır. Betonun dayanımını erken kazanması ve daha kısa sürede servise sunulması gerekir. Bu konuda çeşitli yöntemler uygulanarak betona erken dayanım kazandırılmaktadır (TSE, 1997).

Yüksek performanslı hafif betonların taşıyıcı eleman olarak kullanılması son derece önemlidir. Bunun için taşıyıcılık özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bu nedenle üretilecek yüksek performanslı hafif beton ile kiriş, kolon, perde gibi taşıyıcı sistemlerin ve bunların tek tek taşıma kapasiteleri saptandıktan sonra, bu elemanlardan oluşturulacak taşıyıcı çerçevelerin yanal yükler altındaki davranışlarının tespit edilmesi gerekmektedir (Mindess, 1987; Poon, 2004).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Uğurlu (1989)' ya göre beton hesapları yapılırken agrega granülometrisinin ayarlanması bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Agrega tanelerinin dağılımı en iyi şekilde granülometri eğrileriyle gösterilebilir. Granülometri eğrisi istenilen şartları sağlamazsa agrega içindeki su buharlaşarak dona karşı zayıf, geçirgenliği yüksek ve boşluklu bir beton elde edilmesine neden olur. Böyle bir durumda agrega beton yapımında kullanılamaz. İncelik modülü bize agreganın granülometri bileşimi hakkında fikir vermektedir. İncelik modülü standartlarca 4.20 – 5.48 değerleri arasında olması gerekir.

Beton diğer yapı malzemelerine göre; daha kolay şekil verilebilir olması, dayanılı olması, ekonomik olması, her yerde üretilebilir olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi ve estetik özellikleriyle en çok kullanılan yapı malzemesidir. Durabilite, bir yapının içinde bulunduğu-bulunacağı çevre etkileri altında, servis ömrü boyunca, dayanım ve diğer işlevlerini koruyabilmesi özelliğidir. Yapay bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi kalıcı olmasına bağlıdır. Betondan beklenen üç önemli işlev, işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıktır. Bu şartları sağlayan betonun elde edilebilmesi, ancak çevre ve kullanım koşullarını da dikkate alan bir tasarım yaklaşımıyla, eksiksiz, doğru bir uygulama ile ve üretimin her aşamasının denetlenmesi ve kalite kontrolünün yapılması ile mümkündür (Taşdemir, 2005).

Betonda agrega-çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan bir malzeme olduğu için en zayıf halkasının ara yüzeyler olduğu ortaya çıkmaktadır. Beton teknolojisindeki gelişmenin anahtarı çimento hamuru ile agrega arasındaki ara yüzeylerin güçlendirilmesidir. Geçirimsizlik ile betonun durabilitesi arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Geçirimsiz ve boşluksuz bir beton üretimi ile donatı korozyonuna, asit, sülfat, don ve alkali reaktivitesine karşı gereken önlem alınmış olunur. Maksimum su /çimento oranı ile minimum çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli ve boyut dağılımının uygun olması gerekmektedir. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle durabiliteye göre tasarımı bu iki

parametreye göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleşebileceği doğrudan beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır. Su/çimento oranı olabildiğince düşük beton, geçirimsiz beton, kılcal boşlukları azaltılmış betondur (Erdoğan, 2003).

Yıldırım (1995), normal ve hafif agregalı betonlarda agrega hacim konsantrasyonunun betonun kısa süreli elastik ve elastik olmayan mekanik davranışına etkisi araştırılmıştır. Üretilen betonlarda en büyük agrega boyutu, granülometri ve su/çimento oranı sabit tutularak agrega hacim konsantrasyonu değiştirilmiştir. Disk yarma deneyleri yardımıyla betonların şekil değiştirme kapasiteleri ölçüldü ve agrega konsantrasyonunun bu dolaylı çekme halindeki şekil değiştirme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Basınç halindeki tepe noktası öncesinde yükleme ve boşaltma yapılarak normal agregalı betonların gevreklik indisleri de bulunmuş ve bulunan değerlere agrega konsantrasyonundaki değişmelerin etkisi araştırılmıştır. Kırmataş agregalı betonlarda, agrega konsantrasyonunun zaman bağlı davranışa etkisi, rötre ve sünme deneyleriyle incelenmiştir.

Maksimum dane çapı 32 mm ve 16 mm olan yöre doğal agrega ve yöre çimentoları kullanılarak üretilen betonlar için su/çimento-mukavemet ilişkisini deneysel olarak belirlemeye çalışmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçları TS 802 (Beton Karışım Hesapları), Amerikan ve Alman standartlarında verilen değerler ile karşılaştırmıştır (Cebeci, 1991).

Kırca (2001), Sütçüler –Menteşe çakıl agregasının beton üretiminde kullanılma olanaklarını araştırmıştır. Isparta ve yöresinde agrega potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla yaptığı çalışmasında, özellikle mevcut agrega ocaklarına uzak bölgelerde bulunan agregaların beton imalinde kullanılıp kullanılmayacağını incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda, Isparta-Sütçüler ilçesi Mentese bölgesinde bulunan tahminlere göre 150000m³ rezerve sahip çakıl agregasının beton imalinde kullanılma olanaklarını araştırmıştır. Çalışmada, bölgedeki farklı yerlerden alınan örnekler üzerinde gerekli agrega ve beton deneyler yapılmış ve sonuçta, bu çakıl ocağının işletmeye açılarak değerlendirilmiştir.

Kılınçarslan (2004), çalışmasında çeşitli yoğunluklarda ve farklı dayanımlara sahip barit agregalı betonlar üretmiştir. Üretilen betonlar ile kontrol betonların arasındaki mekanik özellikleri karşılaştırma yaparak incelemiştir. Çalışmada, tamamı normal agregadan oluşan kontrol betonlar baz alınmış ve BS20, BS30, BS40 betonları için optimum karışımlar hesaplanmıştır. Agregada değişiminin betonun dayanımını ve radyasyon geçirimsizliğine etkisini incelemek amacıyla; karışımdaki agregada yüzdesine bağlı kalınarak agregada ve barit miktarlarını belli oranlarda değiştirmek suretiyle beton serileri üretmiştir. Barit oranının değişiminin; betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde meydana getirdiği etkiler araştırmıştır. Basınç dayanımının barit oranına göre en iyi sonucu BS20 serisi betonlarda verdiği, BS30 serisi betonlarda ise barit oranının basınç dayanımını değiştirmedığı, BS40 serisi betonlarda ise barit oranının dayanımı düşürdüğü tespit etmiştir. Ayrıca üretilen her seriye ait betonların; iyon odası yöntemi, Geiger-Müller sayacı yöntemi ve teorik olarak lineer zayıflatma katsayı değerleri bulunmuş ve değerler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda beton içindeki barit oranının arttıkça radyasyon tutuculuk özelliğinin de arttığı belirlenmiştir.

Topçu vd. (2008), çalışmasında alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçların asit ve sülfat gibi kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını arttırmak için etkili en uygun kullanım oranının belirlenmesi amacıyla çeşitli alkali karışımlar kullanılarak aktive edilen yüksek fırın cürufu harçlar üretilmiştir. 28 günlük dayanımlarına ulaştıktan sonra sülfat ve asit içeren ortamlarda 56, 90 ve 250 gün bekletilmişlerdir. Daha sonra basınç dayanımı deneyi yapılarak dayanım kayıpları belirlenmiş ve deneysel çalışmadan yararlanılarak yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerinde modeller geliştirilmiştir. Modellerin eğitiminde kimyasal etki altındaki kür süresi, karışımda kullanılan yüksek fırın cürufu oranı, kireç, alçıtaşı ve aktivatör cinsi girdi, basınç dayanımı sonuçları ise çıktı olarak kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen modelleri test etmek için sadece girdi değişkenleri kullanılarak basınç dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Modeller eğitildikten sonra deney sonuçlarını girmeden sadece deney girdi değerleri kullanılarak yapılan testler sonucunda gerçek değerlere yakın değerler elde edilmiştir.

Öztok (1997), yüksek dayanımlı doğal hafif agregalı betonlarla ilgili bir çalışma yapmıştır. Güllüce (1997), Pasinler (Demirdöven) yöresinde çıkarılan pomzanın ısı yalıtımlı yapı malzemesi olarak kullanılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Çankıran (1998)'in, pomza agregalı hafif betonun mekanik özellikleri ve kimyasal katkılarla dayanımının artırılması ile ilgili bir çalışması vardır. Sancak (1999), hafif agregalı beton blokların mekanik özellikleri üzerine çelik lif kullanımının etkisi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Sezgin (1999)'in, diatomitin hafif yapı eldesinde değerlendirilebilirliği üzerine bir çalışması mevcuttur. Serin (1999) ise pomzanın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanımı üzerine bir çalışma yapmıştır.

Çınar (2000), Karapınar volkanik agregasından imal edilen hafif betonların aderans davranışı üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Aydın (2001)' in, pomza taşından elde edilen hafif yapı elemanlarının ısı performanslarının ve mukavemet özelliklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi üzerine bir çalışması vardır. Bingöl (2002), pomza ile üretilen hafif betonların yangına karşı dayanımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Kaya (2002)'nin, styropor kullanılarak elde edilen hafif betonun karakteristik özelliklerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışması mevcuttur.

Gündüz vd. (1998)'ün, pomza teknolojisi adı altında, ilki pomza karakterizasyonu, ikincisi inşaat sektöründe pomza kullanımı ile ilgili olmak üzere iki ciltlik, kitap olarak basılmış bir çalışması bulunmaktadır. Ayrıca, Isparta yöresi pomzaları ile ilgili olarak; Davraz vd. (1997), granülometrik pomza tanelerinin çatı ve taban döşemede kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Davraz (1998)'in, Isparta pomzasının hafif agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili bir çalışması vardır. Deniz (1997) ise Isparta yöresinden iki farklı pomza türünün kırılma özelliklerini araştırmıştır. Sarıışık ve Şahin (1997) Isparta pomzasının aşındırma-parlatma karakteristiğinin irdelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

Şimşek (1987)'in, Konya-Karaman Maden şehri pomza yataklarından elde edilen pomzanın agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılabilirliği ile ilgili çalışması mevcuttur. Ağırır (1989), Altınapa bims agregasından TS 3234'e uygun briket imal edilmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Arda (1994)'nin, hafif betonlarda agrega konsantrasyonunun betonun mekanik özelliklerinde gösterdiği değişikliklerle ilgili

bir araştırması vardır. Hüsem (1995), Doğu Karadeniz Bölgesi doğal hafif agregalarından biriyle yapılan hafif betonun geleneksel betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Şahin (1996), Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun dayanımlarının araştırılması üzerine bir araştırma yapmıştır. Uysal (1996) ise yine Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun ısı geçirgenliğini araştırmıştır.

Türkmen (1997)'in, Van-Erciş pomzasından üretilen hafif betonun donma çözülme dayanıklılığının araştırılması üzerine bir araştırması mevcuttur. Arıcı (1997), Van yöresindeki volkanik tüfün beton mukavemetine etkisini ve taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Genç (2000)'in, pomza katkılı bimsbeton bloklar ile yapılmış yığma yapı üzerinde deprem etkisinin araştırılması üzerine bir çalışması bulunmaktadır. Mol (2001), değişik oranlardaki pomza-zeolit karışımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

Azanbaeva (1998), genleştirilmiş ferrokrom cürufundan sıkıştırılmış hafif duvar elemanları ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Demirboğa (1999), silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif betonların özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışması vardır.

Mahdy vd. (2002), geçici yüksek ısının, yüksek dayanımlı beton üzerine olan etkileri konusunda bir çalışma yapmışlardır. Altun (2001), ısının, düşük çimentolu, kendinden akışkanlı, ateşe dayanıklı betonun mekanik özelliklerine etkisi üzerine çalışması vardır. Wong vd. (2001)'nin, yüksek ısının, uçucu kül katkılı beton üzerindeki etkileri konulu bir araştırmaları mevcuttur. Cülfik ve Özturan (2002), yüksek ısının, yüksek dayanımlı harcın mekanik özelliklerine etkisini inceleyen bir çalışma yapmışlardır.

Literatürde, çevre ve atık suların arıtılması konularında da pomza ile ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Kaşıkara vd. (1997), pomzanın fenol içeren endüstriyel atıksuların biyokimyasal arıtımında kullanılması üzerine bir çalışması mevcuttur. Gür vd. (1997)'nin, pomzanın tarım ve çevre açısından önemi ile ilgili bir çalışması vardır. Onar vd. (1997) ise pomzanın yine su arıtım teknolojisinde kullanımı ile ilgili

bir çalışma yapmıştır. Baldan (2001), pomza taşı ile su ve atık sulardan demir ve manganın giderimi üzerine bir çalışma yapmıştır. İlhan vd. (1997), pomzanın biyoteknolojide adsorbant olarak kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Temoçin (2000)'in, bazı ağır metallerin mikroorganizma immobilize edilmiş pomza taşında adsorpsiyon şartlarının araştırılması üzerine bir çalışması vardır.

2.1. Agregata

Agregata, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, kuru, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genişleştirilmiş perlit, genişleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemedir (Erdoğan,1995). Agregata genel olarak beton hacminin % 70-75'ini oluşturur.

Agregata, yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olması nedeniyle yapı maliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle uygun niteliklerdeki agregayı, yeterli miktarda ve en yakın ocaktan, en ekonomik şekilde elde edebilmek mühendislik açısından önemli bir konudur (Baradan, 2004).

İyi bir beton elde edebilmek için agregatada aranan önemli özellikler şunlardır:

- Sağlam ve dayanıklı olmalı, aşınmamalı, su etkisi ile yumuşamamalı, dağılmamalı,
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli,
- Tanelerin biçimi ve dokusu iyi olmalı,
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı,
- Agregata içindeki zararlı maddeler bulunmamalıdır (Şimşek, 2000).

Agregaları özelliklerine göre birçok farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Kaynağına göre doğal ve yapay; özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre normal ağırlıklı, hafif, ağır; tane büyüklüğüne göre iri, ince; tane şekline göre yuvarlak, köşeli, yassı, uzun; yüzey dokusuna göre düzgün, pürüzlü, kristalli, petekli;

üretilmelerine göre doğal (kum, çakıl, kırmataş), yan ürün (yüksek fırın cürufu), ısı işleme tabi tutulmuş (genleştirilmiş perlit); jeolojik orijinlerine göre volkanik, tortul, metamorfik; mineralojik yapılarına göre silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı vb.; reaktif özelliklerine göre (agregaların yapılarında, çimento içerisinde bulunabilecek alkalilerle reaksiyona girerek genleşme yaratabilecek reaktif silis içerip içermediklerine göre) reaktif, reaktif olmayan şeklinde sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır (Erdoğan, 1995).

Agregaların özellikleri, beton yapımındaki malzemelerin karışım oranlarını, taze betonun işlenebilmesini, terlemesini, pompalanabilmesini, ve beton yüzeyinin masterlanıp düzeltilebilmesini önemli ölçüde etkilemektedir. Sertleşmiş betonun dayanıklılığı, dayanımı, büzülmesi, birim ağırlığı, termik özellikleri ve ekonomisi gibi özellikleri de bileşimindeki agreganın özelliklerine göre değişmektedir. Agregaların fiziksel özellikleri şunlardır: özgül ağırlık, birim ağırlık, kompasite, porozite (gözeneklilik), donma-çözülme dayanımı, nem durumu ve diğer fiziksel etkenlere karşı dayanıklılık. Agreganın kullanım yeri ve amacına göre, tane dağılımı (granülometrik bileşim), tane şekli, tane dayanımı, dona dayanıklılık, zararlı madde içeriği açısından belli özelliklerde olması istenir.

2.1.1. Hafif Agregata

Özgül ağırlıkları 2400 kg/m^3 'den küçük olan agregalar "hafif agregalar" olarak anılmaktadır (Sancak, 2005). Hafif agregalar, doğadan doğal olarak veya doğal veya atık malzemelerin çeşitli termal işlemlere tabi tutulması sonucu elde edilirler. (Ulus, 2007).

Kuru birim hacim ağırlığı 400 kg/m^3 'e kadar olan agregalar yalıtım betonlarında, $400-650 \text{ kg/m}^3$ arası olan agregalar yalıtım ve orta mukavemetli betonlarda, 650 kg/m^3 'den büyük olan agregalar da taşıyıcı betonlarda kullanılabilir (Gündüz vd.,1998).

Konu ile ilgili standart olan TS 1114'e göre, hafif agreganın tanımı şu şekildedir: Meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan, tuf, bims (pomza),

sünger taşı, lav cürufu, diatomit vb. kırılmış veya kırılmamış agregalar (TS 1114, 1986).

Hafif agregalar genellikle boşluklu ve gözenekli yapıdadırlar. Bunun için kuru birim hacim ağırlıkları düşük ve hafif beton üretiminde kullanımları uygundur.

Doğal hafif agregalar: kırma ve eleme işleminden başka işlemde geçirilmeyen, tuf (sedimente, volkanik), bims (pomza, süngertaşı), lav cürufu (skorya v.b.), diatomit (su yosunları sınıfından tek hücreli mikroskopik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarında meydana gelmiş bir çökeldir) gibi doğal oluşumlu agregalardır.

Yapay hafif agregalar: Genellikle ısıtma ve bazı hallerde sinerleşme yolu ile elde edilen hafif hücresel ve granüle inorganik elemanlardan meydana gelen yüksek fırın cürufu, kil, uçucu kül, perlit, obsiden, vermikulit veya arduvaz maddelerden yapılmış agregalardır. (Sancak, 2005).

Hafif agregalar beş ana grupta toplanabilir:

- Doğal hafif agregalar: Pomza, volkanik tuf, volkanik cüruf,
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil, şist ve arduvaz,
- Endüstriyel artıklardan oluşan hafif agregalar: cüruf, uçucu kül,
- Organik hafif agregalar: hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları gibi malzemeler,
- Polimer kökenli malzemeler

2.1.1.1. Pomza

Türkçe'de pomza, ponza, pomza taşı, süngertaşı, köpüktaşı, kisir, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek gibi isimler kullanılmaktadır.

Pomza sözcüğü, İtalyanca kökenli bir sözcük olup Türkçe'ye İtalyanca'dan girmiştir. İngilizce'de iri taneli pomzaya pumice (pümis), ince taneli pomzaya pumicite (pümisit) denmektedir. Almanca'da ise iri taneli pomzaya bimstein, ince taneli

pomzaya bims denmektedir. Fransızca'da ise ponce olarak adlandırılmaktadır (Davraz ve Gündüz, 1997).

TS 3234'e göre pomza, birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm³'ten küçük, sertliği Mohs sertlik çizelgesine göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır.

Pomza, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli, camsı bir kayadır. Pomzada gözenek hacmi, %85'e kadar çıkabilmektedir. Sertliği mohs skalasına göre 5-6'dır. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Pomzanın genel kimyasal bileşimi ; % 60–75 SiO₂, % 13–17 Al₂O₃ , % 1–3 Fe₂O₃ , % 1–2 CaO, % 7–8 Na₂O - K₂O ve eser miktarda TiO₂ ve SO₃'den oluşmaktadır. Kayacın içerdiği SiO₂ oranı kayaca aşındırıcılık özelliği kazandırır. Bu özelliğinden dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek niteliklere sahip bir kayaç türüdür. Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve yüksek ısıya dayanım özelliğini kazandırmaktadır. Na₂O ve K₂O pomzanın tekstil sanayinde kullanılmasını sağlayan, reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir (Gündüz vd., 1998).

Birçok sektörde kullanılmakla birlikte, en fazla tüketimi inşaat sektöründe olmaktadır. Ülkemizde de özellikle inşaat sektöründe kullanımı giderek artmakta ve önem kazanmaktadır.

Pomza cevheri, inşaat sektöründe, yapı malzemesi olarak değişik amaçlarla üretilen hafif betonların elde edilmesinde agrega olarak kullanılmaktadır. Pomzadan taşıyıcı, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı bileşenleri ya da yapı elemanları üretmek mümkündür.

Pomza taşı hafif agregasıyla üretilen betonlar, taşıyıcı beton olmalarının dışında, ısı yalıtımı ve ses emme amacıyla blok olarak kullanılabilir duvar panoları da üretilir. Pomza taşının öğütülmesi ile elde edilen puzolanlar çimento hammaddesi olarak kullanılabilirler. Pomza taşının yurdumuzda yaygın olan özel kullanımı da beton duvar blokları ve asmolen blok şeklindedir. Oysa pomza taşı agregasıyla üretilen farklı nitelikteki betonlar, yapının taşıyıcı sisteminde kullanılabileceği gibi

ısı ve ses izolasyonu açısından da yapı fiziği sorunlarının çözümünü sağlamaktadırlar.

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler sonucunda iki tür pomza oluşumu mevcuttur: Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Diğer bir deyişle bazik pomzaya bazaltik pomza veya scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1-2 gr/cm₃ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan tür olan asidik pomza ise kirlili beyaz, grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Asidik pomzanın özgül ağırlığı, 13 bazik pomzaya göre daha az olup 0,5-1 gr/cm₃ civarındadır. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalarda alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda olması nedeniyle gübre sanayinde ka maddesi olarak, tarımda toprak ıslahı amacıyla vs. kullanım alanı bulabilmektedir (DPT, 2001).

2.2. Türkiye'nin Pomza Rezerv Potansiyeli

Ülkemiz pomza rezervleri açısından oldukça önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu potansiyel uzun yıllar değerlendirilememiştir. Pomza, mevzuat açısından yıllarca maden olarak görülmemiş ve maden kanunu kapsamında değerlendirilmemiştir. Bu da pomza üretim ve ihracatının gelişmesini engellemiştir. Pomza, ancak 09.11.1976 tarihinde, yürürlükten kaldırılan 6309 sayılı Maden Kanunu'nda yapılan değişiklikle, "Maden Kanunu Hükümlerine Tabi Tutulacak Maddeler Hakkında Kararname" ile Maden Kanunu kapsamına alınmıştır (Gündüz vd., 1998).

2.3. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza taşı eski Romalılar zamanında çoğunlukla termal banyoların ve tapınakların yapımında kullanılmıştır. Bu tür eserler de günümüze kadar ulaşmıştır. Roma Pantheonu ve İstanbul'daki Ayasofya Kilisesi bu döneme ait en belirgin örneklerdir. Daha sonra 1800'lerde Almanya'da kullanıldığı bilinmektedir. Ancak o tarihlerde Avrupa genelinde çok fazla kullanımı olmamıştır.

Pomzanın yapı malzemesi olarak kullanılması 1851 yılında Californiya’da başlamış ve daha sonra da hızla yayılmıştır.

Pomzanın kullanım alanlarını genel olarak 4 ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar, inşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstri alanları başlığı altında toplanabilir.

Birçok kullanım alanı olmakla birlikte, pomzanın dünyada ve ülkemizde en büyük tüketim alanı inşaat sektörüdür. Ülkemizde üretilen pomzanın yaklaşık % 80’inin inşaat sektöründe kullanıldığı bilinmektedir.

Konutlarda kullanılan malzemenin hafifliği, binanın ölü ağırlığının düşük bir değerde olmasına direkt bir etkidir. Bina statığı açısından, bina ölü ağırlığının mühendislik parametrelerinden belirli sınır değerleri korumak koşulu ile düşürülmeye çalışılması, binanın olası gelebilecek şok darbelere ve titreşimlere karşı daha duyarlı ve stabil olmasını sağlamaktadır. Bu bakımdan, inşaat sektöründe kullanılan, hafif agregaların önemi giderek artmaktadır.

İnşaat sektöründe,

- Hafif yapı elemanlarının üretiminde,
- Prefabrik yapı elemanlarının üretiminde,
- İzolasyon amaçlı çatı ve döşeme dolgu malzemesi olarak,
- Hafif beton üretiminde,
- Hafif hazır sıva ve harç üretiminde,
- Çatı ve dekoratif kaplama elemanı üretiminde kullanılmaktadır.

2.4. Hafif Beton

Hafif beton; birim hacim ağırlığı 800 kg/m^3 ’ten fazla, 2000 kg/m^3 ’ten fazla olmayan, agregası tamamen veya kısmen hafif agrega olan betondur. Min. 28 günlük basınç dayanımı 17 MPa olan ve max. kuru birim ağırlığı 1850 kg/m^3 olan betonlardır (ASTM C 330-2a, 2003). Min. 28 günlük basınç dayanımı 16 MPa olan ve max. kuru birim ağırlığı 1900 kg/m^3 olan betonlardır (TS 2511, 1977). Normal

beton yerine hafif betonların kullanılması ve bunun yanı sıra yapılarda daha yüksek sınıflarda betonların kullanılmasıyla, yapıda kullanılacak toplam beton miktarı azalacak ve binalar hafifleyecek, depremin yapılara etkisi yapının ağırlığıyla orantılı olduğundan, yıkılma riski de azalacaktır. Ağır ve hantal yapılar yerine hafif ve narin yapılar yapıldıkça yatırım maliyetleri de azalacaktır. Ayrıca beton sınıfının yükseltilmesi ile kesitler daralacak ve binaların kullanım alanları genişleyecektir.

Hafif betonlar; kullanılan hammaddeye ve yapım tekniğine göre aşağıda açıklandığı gibi başlıca üç şekilde üretilir.

- a) Karışımda normal agregalar (kum, çakıl, kırma taş) yerine hafif agrega kullanarak üretilen, hafif mineral agregalı betonlar,
- b) Beton veya harç kütleleri içinde çok miktarda boşlukların oluşturulmasıyla elde edilen boşluklu, köpüklü veya gaz beton gibi adlar alan betonlar,
- c) Karışımda genellikle normal iri agrega kullanılarak üretilen ince agregasız betonlardır.

Kuru ve çakıl agregaları ile yapılmış normal betonların kuru birim hacim ağırlıkları 2200–2400 kg/m³ civarındadır. Beton yapımında kullanılan kum, çakıl veya çimentonun bir kısmı beton yapısında hava boşlukları meydana getirilerek veya geleneksel agregalar yerine hafif veya çok hafif agregalar kullanılarak betonun birim hacim ağırlığı azaltılabilir. Bu yolla üretilen, kuru birim hacim ağırlığı 2200 kg/m³'den düşük olan betonlar hafif beton olarak adlandırılmaktadır. Kuru birim hacim ağırlığı 800 kg/m³'den küçük betonları da, yapım yöntemleri, kullanım koşulları ve alanları farklı olduğundan, çok hafif betonlar olarak adlandırmak yerinde olacaktır.

Betonarme inşaatlarda geleneksel beton kullanımı yerine hafif beton kullanımının birçok üstünlüğü vardır. Bu üstünlükler şunlardır.

1. Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur böylece üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

2. Hafif betonlar üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yükleri azalır, bu azalma ile temellerde ve eğilme etkisindeki elemanlarda donatı ekonomisi sağlanır.
3. Birim kütlelerinin azlığından temel boyutları azalır.
4. Deprem davranışlarının iyileşmesi sağlanır.
5. Isı yalıtımları yüksektir.
6. Yangın bakımından da normal betona göre daha dayanıklıdır (Topçu, 2006).

2.4.1. Hafif Betonların Sınıflandırılması ve Önemi

Hafif betonlar birim hacim ağırlığı ve mukavemetlerine göre sınıflandırıldıkları gibi, kullanılan hafif agregalara göre de isim alırlar. Birim ağırlıkları ve mukavemetlerine göre üç grup altına toplanırlar:

1. Yalıtım betonu: Birim ağırlığı $0.2-0.6 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $0.2-2.5 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar.
2. Hem yalıtım, hem taşıyıcı beton: Birim ağırlığı $0.6-1.2 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $2.5-10 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar.
3. Taşıyıcı beton: Birim ağırlığı $1.2-2.0 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $15-60 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar (Topçu, 2006).

Yapılan araştırmalar normal beton yerine hafif beton kullanılmasının başlıca sebepleri arasında, hafif olmalarından dolayı kesitlerin küçülmesi, donatı ve malzeme gereksiniminin azalmasından kaynaklı ekonomisi sağlaması, kullanılabilir mekânların artması, ısı ve ses yalıtımı için ikinci bir malzeme kullanımına ihtiyaç uyulmaması, donma çözülme ve ateşe dayanılmalarının yüksek olması, ayrıca depreme dayanıklı olmaları gelmektedir.

Üretim yöntemi, agrega çeşidi, karışım oranları gibi etkenlere bağlı olarak hafif betonların birim ağırlıkları, dolayısıyla dayanım ve yalıtım özellikleri değişebilmektedir. Uygulama amacına göre değişik özelliklere sahip hafif betonlarla dolu ve boşluklu bloklar, prefabrik, yerinde dökülen taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan

yalıtım elemanları üretilebilmektedir. Hafif betonlar öngerilmeli beton olarak da kullanılmaktadır. İlk uygulamalarda hafif betonun ekonomik yararlarının, birim hacim ağırlıklarının ve ısı yalıtımı katsayılarının küçüklüğü teşkil ediyordu. Ancak, dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanılmalarından başarılı sonuçlar elde edilince, bugün yalıtım görevine ilaveten taşıyıcı elemanlarda da kullanılmaya başlanılmıştır.

2.5. Uçucu Kül ve Silis Dumanının Beton Üzerindeki Etkileri

Uçucu küllerin tane yapıları küresel olan katı parçacıklardır. UK taneciklerinin boyutları 1–150 µm arasında değişiklik göstermektedir. Normal olarak, 2,1–2,7g/cm³ yoğunluğa sahiptirler. Renkleri açık griden koyu griye uzanan değişikliktedir. UK daha çok karbon içerdiklerinde, koyu gri renkte daha çok demir içerenler ise açık gri renkte olmaktadır. Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için, uçucu küller de, aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler; kalsiyum hidroksitle sulu ortamlarda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadır. O nedenle, hem portland-puzolan tipi çimento üretiminde, hem de beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanılmaktadırlar. Genellikle, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilirler. Beton karışımının içerisinde yer alan uçucu kül miktarı, çimento ağırlığının %15-%50'si civarında değişebilmektedir (Erdoğan, 2007).

Uçucu külün kimyasal bileşimi kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orjini ve süreç koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfürizasyon gibi) bağlıdır. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, ve CaO olup, diğerleri SO₃, MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca yanmamış karbon ve bunun yanı sıra titanyum, fosfor, mangan ve molibden de eser bileşen olarak bulunmaktadır (Erdoğan, 2006)

Uçucu külün beton karışımında kullanılması taze ve sertleşmiş beton özelliklerini önemli derecede etkiler. Taze betonun su ihtiyacı, işlenebilirliği, priz zamanı, bitirilebilme özelliği, hidratasyon ısısı uçucu külün kullanımı sonucunda etkilenir. Katılaştırılmış betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri de uçucu külün beton

karışımında kullanılmasıyla etkilenen özellikleridir. Uçucu küllerin beton özellikleri üzerine olan etkileri aşağıda başlıklar halinde özetlenmiştir (Karahana, 2006).

UK katkılı betonların işlenebilmesi, katkısız betonlarınkinden daha iyi olmaktadır.

Bunun iki nedeni vardır:

1. UK yoğunluğu portland çimentosunun yoğunluğundan daha azdır. O nedenle, puzolanik beton yapımı için çimento ağırlığının bir bölümünün yerine uçucu kül kullanıldığında, betondaki bağlayıcı hamurun hacmi artmaktadır. Daha büyük hacme sahip bağlayıcı hamur, taze betondaki agrega arasını daha iyi doldurmakta ve plastiklik sağlamaktadır.

2. UK taneleri küresel şekillidir. Küresel şekilli tanecikler iç sürtünmeyi azaltmakta, betonun akıcılığını arttırmaktadır.

Betondaki bağlayıcı hamurun hacmindeki artış ve UK taneciklerinin sürtünmeyi azaltarak betona daha fazla akıcılık sağlamaları, taze betonun pompalanabilirliğini artırmakta, yüzeyinin daha kolay düzeltilebilir olmasına yol açmakta, kalıpları daha kolay sökülebilir duruma getirmektedir (Erdoğan, 2007).

UK katkılı betonların su ihtiyacı, uçucu külün inceliğine ve kullanıldığı miktara bağlı olmaktadır. İncelik arttıkça su ihtiyacında artma olmaktadır (Erdoğan, 2007).

UK katkılı betonlarda yer alan portland çimentosu miktarı, katkısız betondakine göre daha azdır. UK katkılı betonların priz süreleri katkısız betondakinden genellikle daha uzun olmaktadır. Priz süresi, kullanılan uçucu külün tipine ve inceliğine göre değişmektedir. C tipi uçucu küller, F tipi uçucu küllerden daha kısa priz süresi göstermektedir.

Katkı maddesi olarak uçucu kül kullanılmasının beton dayanımına etkileri, ince taneli doğal puzolanların etkisine benzemektedir. Normal olarak, ilk zamanlarda, uçucu küllü betonun dayanımı katkısız beton dayanımına kıyasla birazcık daha az olmaktadır. Ancak sonunda dayanım oldukça yüksektir (Erdoğan, 2007).

Uçucu küllü betonun geçirgenliği genelde katkısız betonun geçirgenliğinden daha düşüktür. Geçirgenliğin böyle düşük olmasının nedeni uçucu kül ile çimentonun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit arasındaki puzolanik reaksiyon sonucu ortaya çıkan ilave C-S-H jelleridir. Bu jeller kapiler boşlukları azaltmaktadır. Uçucu kül kullanımının betonda geçirgenliği azaltması ayrıca sülfat atağının beton üzerindeki bozucu etkilerini de azaltmaktadır. Çimentonun alkalileri ile agreganın reaktif silis bileşenleri arasında yer alan alkali agrega reaksiyonu sonucundaki genişleme ve çatlamlar, uçucu kül kullanılması ile azaltılabilmektedir. Uçucu külün bağlayıcı hamurunun hacmini artırdığı durumlarda su miktarı sabit tutulduğu zaman rötre de artış görülebilir. Bunun yanı sıra, uçucu kül ilavesi işlenebilirliği artırdığından sabit işlenebilirlik için su miktarı azaltılabilir, bu da rötre artışını yok edebilir. Uçucu külün yüksek oranda kullanılması rötreyi azaltmaktadır (Karahan, 2006).

Silis dumanının rengi açık griden koyu griye değişen renkte olabilir. Rengindeki koyuluk, karbon içeriğinin artmasıyla artmaktadır. (Malhotra, 1997). Su ile birleşmiş durumda, siyaha yakın bir renk göstermektedir (Erdoğan, 2007).

SD'nin özgül ağırlığı 2,2–2,3 kadardır. (Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3,1 civarındadır.). SD'nin birim ağırlığı, üretildiği haliyle, 240–300 kg/m³ civarındadır. SD çok ince taneli olduğundan, su ihtiyacı oldukça yüksektir. Ayrıca, çok kuvvetli bir puzolanik bağlayıcılık göstermektedir (Erdoğan, 2007).

Son yıllarda beton teknolojisi uzmanları, kimyasal ve puzolanik katkıların özel ihtiyaçlara göre beton yapımında kullanımı konusunda birçok araştırma yapmışlardır. Puzolanik malzemeler arasında, betona yüksek dayanım veren başlıca katkı, silis dumanıdır.

SD katkılı beton, sadece Portland çimentosu ile yapılmış olan betonlarda, yüksek kohezyondan ve ince katı taneciklerin arasında daha çok temas olmasından, silis dumanlı betonların işlenebilmesi azdır. Betona katılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5'inden daha yukarıya çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, yüzey düzeltme işlemlerinde kullanılan malzemelere yapışarak zorluk çıkartmaktadır (Erdoğan, 2007).

SD tanelerinin çok ince olmasından dolayı, belirli bir çökme değeri için betonun su ihtiyacı artmaktadır. Bu yüzden, betonda daha az su kullanmak amacıyla, silis dumanlı katkılarla yapılan betonlarda su azaltıcı katkı malzemelerinin de kullanılması gerekmektedir (Erdoğan, 2007).

Çimento ağırlığının %7- %10'u kadar silis dumanı katılarak yapılan betonların priz süreleri, katkısız betonlara göre daha uzun olmaktadır (Akçaözoğlu, 2007).

SD katkılı betonlarda basınç dayanımını oldukça arttırmaktadır. SD'nin betondaki boşlukları doldurma ve puzolanik etki olmak üzere iki işlevi vardır. Bunlardan hangisinin belirleyici olduğu yönünde değişik görüşler vardır. Silis dumanının puzolanik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu, mikro yapısal ve mekanik incelemelerle kanıtlanmıştır (Akçaözoğlu, 2007).

Silis dumanının beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir. Betonun 28 günlük dayanımını artırmayı amaçlayan çalışmalarda silis dumanın genellikle çimentonun %10-20'si oranında kullanıldığı ve gerekli işlenebilmeyi sağlamak için %10'dan yukarı miktarların süper akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanıldığı görülmektedir (Yeğınobalı, 1993).

Katı kuru tuzlar betona zarar veremezler ancak su ile birlikte bulunmaları sonucu, sertleşmiş çimento harcı ile reaksiyona girerler. Zemin yüzeyinde oluşan tuz birikintileri genellikle sodyum sülfattır. Ancak magnezyum sülfata da birçok bölgede rastlanır. Reaksiyonun gelişimini, sülfatlı ortamın şiddeti, betonun geçirimsizliği, betonda kullanılan çimentonun kimyasal yapısı ve suyun varlığı etkilemektedir.

Betonların sülfat dayanıklılığını artırmak için sülfata dayanıklı çimento ile birlikte uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkıları kullanılır. Puzolanlar $Ca(OH)_2$ 'i bağlayarak sülfatlarla reaksiyonu önler ve sadece Portland çimentosu ile kıyaslandığında bağlayıcı içindeki $Ca(OH)_2$ ve C_3A oranının düşmesini sağlar (Akman, 1992; Mehta vd., 1997).

SD, yoğun bir yapı oluşturarak betonun geçirimsizliğini azaltmakta ve geniş özgül yüzeyi ile alkalileri bağlayarak boşluk çözeltisinin alkali konsantrasyonunu

düşürmektedir. Ayrıca silis dumanının amorf halde bulunan silis içeriği, çimento yerine kullanıldığından beton henüz taze haldeyken alkaliler ile reaksiyona girer. Bu reaksiyonun beton taze iken hızla oluşmasının sebebi, silis dumanının inceliğinin çok yüksek olmasıdır. Yeterli miktarda silis dumanı kullanıldığında, beton gerekli dayanımı kazanmadan önce çimento ve silis dumanı tarafından ortama giren sodyum iyonlarının büyük kısmı reaksiyon esnasında tükenir ve zararlı genleşmeler çatlaklara yol açmazlar (TÇMB, 2002).

2.6. Yüksek Performanslı Betonlar

Yüksek Performanslı beton (YPB) durabilite koşulunu sağlayan yüksek dayanımlı betondur. Yüksek performanslı betonlar ile ilgili olarak birçok çalışma yapılmaktadır. Yüksek performanslı beton, betonarme yapılarda birçok açıdan avantaj sağlasa da gevrek yapısı en zayıf yönüdür. Bu betonlar, yüksek dayanımla birlikte üstün durabiliteye sahiptir (Poon vd., 2004). Yüksek dayanımlı beton sıcaklığa maruz kaldığında, normal betona göre özelliğini kaybedip parçalanma, dağılma riski daha yüksektir. Bunun nedeni, yüksek performanslı betonun yoğunluğudur. İÇyapıdaki sıklık yangın direncini azaltır ve yüksek dayanımlı betonu normal betona göre riskli duruma getirir (Kalifa vd., 2000).

Yüksek Performanslı Beton, dayanımı, durabilitesi ve su/bağlayıcı oranı bakımından aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Çok erken dayanımlı beton: 4 saatlik basınç dayanımı. 17.5 MPa; çok yüksek erken dayanımlı beton: 24 saatlik basınç dayanımı. 35 MPa; çok yüksek dayanımlı beton: 28 günlük basınç dayanımı. 70 MPa,
- Durabilite çarpanı .%80 (donma-çözülmenin 300 tekrarından sonra),
- Su/bağlayıcı oranı 0.35'dir.

Yüksek dayanımlı betonlarda eksenel şekil değiştirme kapasiteleri artmakta ve tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü ani olmakta ve daha gevrek kırılmaktadır. Yüksek dayanımlı betonlar için, en yüksek gerilmeye kadar yutulan bağıl enerji daha düşük dayanımlı betonlarınkinden düşüktür (Taşdemir, 2005).

2.7. Yüksek Performanslı Hafif Beton

YPHB taşıyıcı eleman olarak kullanılması son derece önemlidir. Bunun için taşıyıcılık özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle üretilecek YPHB ile kiriş, kolon, perde gibi taşıyıcı sistemlerin ve bunların tek tek taşıma kapasiteleri saptandıktan sonra, bu elemanlardan oluşturulacak taşıyıcı çerçevelerin yanal yükler altındaki davranışlarının tespit edilmesi gerekmektedir (Nevile, 2002 ve Postacıoğlu, 1997).

Normal beton yerine yüksek performanslı hafif betonların kullanılması ve bunun yanı sıra yapılarda daha yüksek sınıflarda betonların kullanılmasıyla, kullanılacak toplam beton miktarı azaltılarak ve binalar hafifleyecektir. Depremın yapılara etkisi, yapının ağırlığı ile orantılı olduğundan yıkılma riski de azalacaktır. Ağır ve hantal yapılar yerine hafif ve narin yapılar yapıldıkça yatırım maliyetleri de azalacaktır. Ayrıca beton sınıfının yükseltilmesi ile kesitler daralacak ve binaların kullanım alanları genişleyecektir. Bunun yansıra birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeni ile beton kalıbında daha düşük basınç oluşacağından üretim ve yerleştirme işleminin kolaylaştırılmasıdır (Taşdemir, 2005).

Betonların hafif ve yüksek performanslı olabilmesi için kullanılacak bileşimlerin tespiti yapılmalıdır. Pomzanın tek başına kullanımı ile yüksek performanslı hafif betonlar üretmek mümkün değildir, diğer yüksek performanslı betonlarda olduğu gibi kimyasal ve mineral katkıları kullanmak gereklidir.

Betonda hafif ağırlıklı agrega kullanılmasıyla yapının ölü ağırlığının ve kullanılacak demir donatı alanının azalacağını ortaya koymuşlardır. Günümüzde deprem riskinin artması da taşıyıcı hafif betona olan ilgiyi arttırmıştır (Topçu, 1997; Yaşar vd., 2003).

2.9. Alkali – Silika Reaksiyonu

Alkali-silika reaksiyonu(ASR); çimento içerisindeki alkali oksitlerle agrega içerisindeki aktif silisin bir araya gelerek silikat jeline dönüşmesi ve böylece betonun şişme eğilimi göstermesi olarak tanımlanmaktadır.

Çimentodaki alkali oksitlerin eşdeğer alkali miktarı %0,6'dan fazla olduğundan ve beton agregalarında aktif silis bulunmakta ve bu nedenle 'alkali-silika' reaksiyonu (ASR) oluşmaktadır. ASR betonda büyük genleşmelere yol açarak betonun çatlayıp kısa sürede bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca sıcaklık, nem ve basıncın artması da bu reaksiyonları arttırmaktadır (Topçu vd., 2004)

ASR iki aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada alkaliler ile reaktif silikalar birleşerek ASR jel ürünlerini oluşturur ve daha sonra ikinci aşamada ASR jelleri ortamdaki nem ile birleşerek genleşmeleri oluştururlar. Oluşan bu genleşmelerde betonun çatlamasına ve bozulmasına neden olmaktadır (Baradan vd., 2002).

Rutubet, silisin çözünmesine, alkali iyonların yayılmasına ve reaksiyon bölgesinde jel oluşmasına sebep olur. Oluşan jel ise su emerek şişip genişler ve betonda içsel çekme gerilmeleri oluşmasına yol açar. Araştırmalar, bağıl nem oranının %80'in üstünde olan betonlarda ASR'nin oluştuğunun göstermektedir (Aşık vd., 2004).

Düşük su/çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi başka bir yolla beton geçimliliği azaltılırsa; rutubetin betona girişi ve beton içinde dolaşımı azalır. Dolayısıyla beton içindeki alkalilerin yayılması da azaltılmış olur (TÇMB, 2002).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu araştırmada; materyal olarak, kırma taş ve pomza olmak üzere iki çeşit agrega, mineral ve kimyasal katılar kullanılmıştır. Bunlar, Atabey agregası ve Isparta-Gölcük pomza agregalarıdır. Karışımdaki agrega yüzdesine bağlı kalınarak belli granülometriye sahip pomza, agrega yerine konulmuş ve BS 30 sınıfına girmesi istenilen yüksek performanslı hafif betonlar (YPHB) elde edilmeye çalışılmıştır. Bu betonların özelliklerinin karşılaştırılması için de kontrol betonları üretilmiştir. Beton yapımında, bağlayıcı olarak Isparta Göldaş Çimento Fabrikası'ndan alınan portland çimentosu (EN 197-1 CEM I 42,5 R), karışım suyu olarak ise Isparta şebeke suyu kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların tümünde Türk standartları Enstitüsünün agregalar ve betonlar üzerine yaptığı deneyler uygulanmıştır. Bu çalışmada su/çimento oranı NB'ler için 0.55, PB'ler için 0.26 ve YPHB'ler için 0.30 olan katkılı ve katkısız olmak üzere beton serileri dökülmüştür.

3.1.1. Agrega

Çalışmada bölgenin önemli derecede agrega ihtiyacını karşılayan Isparta-Atabey kum çakıl ocağından getirilen normal agrega (N) ve Isparta-Gölcük civarındaki pomza ocaklarından elde edilen pomza (P) agregasıdır. Ocaklardan elde edilerek getirilen yaklaşık 50kg agrega Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü Beton Laboratuvarı'na getirilmiştir. Agregalar yıkanıp kurutulduktan sonra ASTM standartlı elekler ile elenmişlerdir. Isparta-Gölcük civarındaki pomza ocaklarından elde edilen pomza ocakta yıkandığı için doğrudan elenmiştir. Agregalar nem ve sudan korunacak şekilde depolanmışlardır.

3.1.2. Çimento

Bu çalışmada Isparta' da bulunan Göldaş Çimento Fabrikası'nda üretilmiş CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. CEM I 42,5 R çimentosunun Göldaş Çimento Fabrikası'nda yapılmış olan kimyasal özellikleri Çizelge 3.1. fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal özellikleri

Bileşen	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	Kızdırma Kaybı	Çözünmeyen Kalıntı
Çimento (%)	1,91	6,20	20,60	61,40	3,01	2,68	1,03	0,19	0,007	3.89	0,30

Çizelge 3.2. CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri

Bileşen	PÇ 42,5 (%)
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,12
İncelik (cm ² /gr)	2919
Eğilme Dayanımı (MPa)	7,88
2 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	24,8
7 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	37,7
28 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	50,1
7 günlük eğilme-çekme dayanımı (N/mm ²)	5,9
28 günlük eğilme-çekme dayanımı (N/mm ²)	7,5
Priz başlama süresi (Dakika)	186
Genleşme (mm)	1

3.1.3. Kimyasal Katkı

Kimyasal katkıları, betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında çimentonun %5'ini geçmemek üzere eklenen maddeler olarak tanımlanmaktadır (Akman, 1996). Kimyasal katkıları;

- Su azaltıcı katkı,
- Yüksek oranda su azaltıcı katkı,
- Su tutucu katkı,
- Hava sürükleyici katkı,
- Priz hızlandırıcı katkı,
- Serleşmeyi hızlandırıcı katkı,
- Priz geciktirici katkı,
- Çok amaçlı katkı

olmak üzere sınıflara ayrılmaktadır (Akman, 1996).

Deney çalışmalarda Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.' nin ürettiği FF-N süper akışkanlaştırıcı katkı ve AER hava sürükleyici katkıları kullanılmıştır.

Sikament FF-N, yüksek oranda su azaltıcı ve erken yüksek dayanım sağlayan bir katkı maddesidir. ASTM C 494 Tip F ve TS EN 934-2 standartlarına uygundur. Betonarme elamanlarda, sık ya da ince donatılı elamanlarda, erken kalıp alınması gereken durumlarda ve soğuk havalarda erken yüksek dayanım istenilen durumlarda da kullanılmaktadırlar.

Sika AER, kullanıma hazır sentetik bazlı hava sürükleyen katkı malzemesidir. ASTM C-260-81 standardına uygundur. Kütle ve yer betonlarında, yollarda, havaalanı pistlerinde, barajlarda ve su depolarında kullanabilirler.

Çimento ağırlığının % 0,8-3' ü oranında kullanılabilen ve su azaltıcı olarak kullanılan bu katkı maddesi dozajına bağlı olarak % 25-30 su azaltarak betonun 28 günlük dayanımında % 10-40 oranında artış sağlamaktadır (Sika Ürün Kılavuzu).

3.1.4. Uçucu Kül

Çalışmada kullanılan F tipi uçucu kül, Muğla Yatağan Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Uçucu külün kimyasal özellikleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
50,77	21,13	6,17	12,44	4,53	1,33	0,24	2,54

3.1.5. Silis Dumanı

Çalışmada kullanılan Silis dumanı Antalya Eti Elektro Metalurji A.Ş.'den temin edilmiştir. Silis dumanının kimyasal özellikleri Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Silis dumanının kimyasal özellikleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
91	0,58	0,24	0,71	0,33	1,06

3.1.6. Su

Yapılan araştırmada kullanılan su SDÜ'nün şebeke suyudur ve malzemede ne kadar kullanılacağı hesaplanmıştır. Kontrol betonlarında su/çimento oranı %0.5 olarak alınmıştır. Beton karışımlarında pomzanın kullanılması ile birlikte bu oran değiştirilmiştir. SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinden alınan suyun özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. SDÜ şebeke suyunun kimyasal analizleri

Na ⁺ (mg/l)	9,95
K ⁺ (mg/l)	3,51
Mg ²⁺ (mg/l)	35,0
Ca ²⁺ (mg/l)	82,04
Fe ²⁺ (mg/l)	0,12
Pb ²⁺ (mg/l)	0,14
Zn ²⁺ (mg/l)	< 0,2
Cu ²⁺ (mg/l)	0,22
Al ³⁺ (mg/l)	< 0,05
Cl ⁻ (mg/l)	6,0
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	20
NO ₃ ⁻ (mg/l)	12,3
NH ₄ (mg/l)	< 0,06
NO ₂ ⁻ (mg/l)	< 0,07
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	0
% Na	6,93
SAR	0,23
Toplam Sertlik (°f)	40,9
Karbonat Sertliği (°f)	43,2

3.1.7. Na₂SO₄ Çözeltisinin Özellikleri

Betonların dona karşı dayanırlıklarının tespitinde kullanılacak olan Na₂SO₄ ve MgSO₄ çözeltilerinin kütlece kimyasal birleşimleri Çizelge 3.6.'da verilmektedir.

Çözeltilerdeki sülfat iyonları 33.800 mg/l olup pH değerleri ise 6–8 arasındadır (Başyigit vd., 2004). ASTM C 1012'ye uygun olarak çözeltilerde 1 ml/cm³ sülfat kullanılmıştır. Çözelti havuzu, buharlaşmanın önlenmesi için, cam levha ile kapatılmış, kristalleşmenin meydana gelmemesi için de belirli aralıklarla karıştırılmıştır.

Çizelge 3.6. Na₂SO₄ çözeltisinin kimyasal birleşimleri

	Na ₂ SO ₄ 7 H ₂ O
NaOH	-
H ₂ SO ₄	-
Cl	< 0.002
Pb	< 0.001
As	< 0.0002
Ca	< 0.005
Fe	< 0.001
Se	-

3.1.8. Çalışmada Kullanılan Araçlar ve Gereçler

Laboratuvar çalışmasında kullanılan araçlar ve gereçlerin standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmada elekler, hassas terazi, etüv, plastik küp beton numune kalıpları, sarsma tablası, kür havuzu, tek eksenli basınç aleti, Los Angeles aleti, ultrases aleti, fırça, gres yağı, spatula, mala, cam ve plastik ölçü kabı, piknometre, beton mikseri, plastik tokmak, şişleme çubuğu, Geiger-Müller (G-M) sayacı ve schmidt çekici vb. gibi malzemeler deneylerde kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Agregaların Alınması

Deneysel çalışmada kullanılacak olan agregalar Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü Beton Laboratuvarı'na getirilmiştir. Agregaların belirli bölgelerinden agregaların alınması için TS EN 932-1'e

(1997) uygun şekilde agregadan numuneler alınmış ve TS EN 932-2'ye (1999) uygun biçimde çeyrekleme yöntemi kullanılarak numuneler azaltılmış ve yaklaşık 800kg malzeme alınarak agregada deneyleri yapılmak üzere saklanmıştır.

3.2.1.1. Agregada Fiziksel Özelliklerin Tayini

Agreganın fiziksel özelliklerin belirlenmesinde elek analizi deneyi, TS 3529'a uygun olarak agregada sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyi, TS 3526'ya uygun olarak özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır.

3.2.1.2. Elek Analizi

Elek analizi deneyi, beton yapımında kullanılacak normal ve pomza agregaların tane büyüklüğü dağılımını (granülometrik bileşimini), tane sınıflarını ve incelik modülünü belirleyebilmek için TS 130'a göre yapılmıştır.

Elek analizi için agregada deneyleri yapmak üzere saklanan normal agregada ve pomza, 3530 EN 933-1'e (1999) uygun olarak etüve konulmuş, 24 saat sonra etüvden çıkarılmıştır. Deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde üst üste yerleştirilmiştir. Kurutulup tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine konmuş ve eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işlemi sonunda her elekte kalan malzeme 0,1 gr duyarlıkta tartılmıştır. Çalışmada kullanılan elek takımı, elek sarsma makinesi, terazi ve etüv Şekil 3.1. ve 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Elek analizinde kullanılan elek takımı, elek sarsma makinesi ve terazi



Şekil 3.2. Agregaların kurutulmasında kullanılan etüv

3.2.1.3. Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Deneyi

Gevşek birim ağırlık deneyi hacmi bilinen birim ağırlık kapları ve tartı yardımı ile bulunur. Sıkıştırılmış birim hacim ağırlığı bulunurken numune kaba üç defada ve her seferinde 25 defa şişleme ile konulur. Belirli hacimdeki kabı dolduran agregatanelerinin toplam ağırlığının kabın hacmine oranıdır.

Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık deneyi, beton yapımında kullanılacak doğal veya yapay agregaların sıkışık ve gevşek birim ağırlıklarını belirleyebilmek için TS 3529'a (1980) göre yapılmıştır.

3.2.1.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme

Beton yapımında kullanılacak agregaların kuru veya doygun kuru yüzey özgül ağırlıklarını ve görünen özgül ağırlığı ile su emme oranını belirlemek üzere uygulanan deney yöntemidir. Özgül ağırlık ve su emme deneyleri TS 3526'ya (1980) göre yapılmıştır. 800 gr numune alınarak 24 saat su içinde bırakılmıştır. Numunenin serbest yüzey suyu süzülerek akıtılmış ve kuruma tepsisi üzerine konularak doygun kuru yüzey hali meydana gelinceye kadar kurumaya bırakılmıştır.

3.2.1.5. Sodyum Sülfat ile Dayanıklılık Tayini

Agreganın dona dayanımı kimyasal yöntem ile saptanmıştır. Normal agrega ve pomzalar tane büyüklüğü 4/8 (mm) 300 gramlık numune 105 °C de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve tartılmıştır. Kurutulan numuneler tel sepetlere konularak ve içinde sodyum sülfat çözeltisi bulunan kovalara ayrı ayrı daldırılmıştır. Numuneler çözeltinin içinde bu şekilde 18 saat bekletilmiştir. Buharlaşmaya engel olmak için, kovalar bir kapak yardımı ile kapatılmıştır. 18 saat bekleme süresinin ardından numuneler çözeltilerden çıkartılmış ve 15 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra etüve konularak 105 °C de kurutulmuştur. Kurutulan numuneler etüvden çıkartılarak 15 dakika oda sıcaklığın da bekletilmiştir. Daldırma, çıkartma ve etüvde kurutma işlemi beş kez tekrarlanmıştır. Beşinci tekrarlanan sonunda kurutulup soğutulan numuneler elek üzerine boşaltılarak elenmiş ve aynı zamanda su ile yıkanılmıştır. Yıkama ve eleme işlemleri tamamlandıktan sonra numuneler 1050 °C de kurutulup oda sıcaklığında soğuyuncaya kadar bekletilmiş ve tartılmıştır.

3.2.2. Taze Beton Deneyleri

3.2.2.1. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık

Taze betonda yoğunluk TS EN 12350-6' ya göre taze betonun hacmi ve kütlesi bilinen, rijit ve sızdırmaz kap içerisine sıkıştırılarak yerleştirilir ve tartılır. Bu deney taze betonun birim hacmine isabet eden ağırlığın kg/m^3 olarak ifade edilmesi ve beton içerisindeki hapsolmuş hava miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılır.

3.2.3. Sertleşmiş Beton DeneYleri

Sertleşmiş beton deneYlerinden basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık, betonda schmidt sertlik deneyi. ultrases hızı ile ölçüm, özgül ağırlık, su emme, dona yanıklılık ve radyasyon zayıflatma katsayısının ölçülmesi deneYleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda 7, 28 ve 90 günlük örnekler üzerinde analizler yapılmıştır.

3.2.3.1. Basınç Dayanımı

Tahribatlı test yönteminde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Bu deney için S.D.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi Laboratuvarında bulunan 300 ton kapasiteye sahip tek eksenli basınç pressisi (Şekil 3.3) kullanılmıştır. Basınç deneYlerinde yükleme hızı saniyede 0.35 Mpa olarak sabit tutulmuştur. Belirli yaşlardaki beton numuneleri birim alanının taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karışımla üretilen betonun gerçek uygulamadaki elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir yürütmek amacıyla kullanılmaktadır. Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır. Beton numunelerinin kalıba yerleştirilmesi sarsma tablası kullanılarak yapılmıştır. Kalıptan çıkartılan beton numuneler kür havuzunda bekletilmiştir. Sertleşmiş beton örnekleri tek eksenli basınç aleti ile kırılmıştır. Numunelerin basınç dayanımları Denklem 3.1.'de yerine konularak hesaplanmıştır.

$$F_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.1)$$

F_c :Basınç dayanımı (kgf/cm^2)

F :Kırılma yükü (kgf)

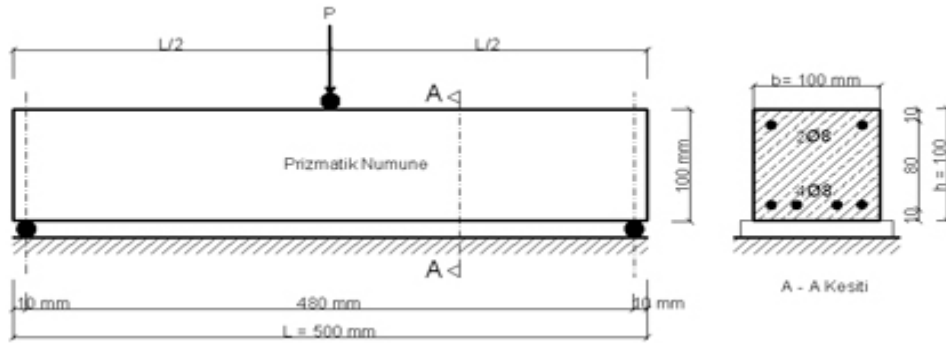
A_c :Numunenin yük doğrultusundaki kesit alanı (cm^2)



Şekil 3.3. Basınç deneyinde kullanılan 300 ton kapasiteli beton presli

3.2.3.2. Eğilme Dayanımı

Eğilme deneyi kiriş numunelerin orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile yapılmıştır. Bu deney için S.D.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi Laboratuvarında bulunan 15 ton kapasiteli yükleme hızı ayarlanabilen test cihazı kullanılmıştır. Yükleme tek noktadan ve tam ortadan uygulanmıştır. Deney düzeneği ve kesit Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Eğilme deney düzeneği

Bu amaçla daha önceden hazırlanan beton numuneler 28. günde kırılarak kırılma anındaki okunan değer Denklem 3.2.'de yerine konularak bulunmuştur.

$$f_{cf} = \frac{3.F.L}{2d_1.d_2} \quad (3.2.)$$

f_{cf} : Eğilme dayanımı (MPa)

F : En büyük yük (N)

L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm)

d_1, d_2 : Numunenin en kesit boyları

3.2.3.3. Özgül Ağırlık, Su Emme

Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı, betonun etüv kurusu ağırlığı ile suya doygun ağırlığı arasındaki farktan, havada ve su içinde yapılan tartılardan yararlanarak belirlenir. Sertleşmiş betonda, özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini TS 3624'e (1981) göre yapılmıştır.

3.2.3.4. Beton Yüzey Sertliği Yolu İle Yaklaşık Basınç Dayanımı

Bu deneyle cihazın içinde yer alan bir kütle ile sertleşmiş betonun yüzeyine darbe vurulmaktadır. Böylece betonun yaklaşık dayanımı belirlenmektedir. Yüzey sertlik dayanımı TS 3260 'a göre yapılmıştır.

Schmidt sertlik deneyleri S.D.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney başlamadan Schmidt çekici kalibre edilmiştir. Deneyler silindir numunelerde betonlar 28 günlük iken yapılmıştır. Deney her bir beton serisi için üç farklı numune üzerinde ve her numune için 15 farklı noktadan uygulanmak sureti ile gerçekleştirilmiştir. Silindir numunelerin üst yüzeyinden 90° ve 0° açı ile alınan değerler, kullanım kılavuzunda yer alan grafikte bu değerlere karşılık gelen dayanım değerleri bulunmuştur.

3.2.3.5. Ultrases Deneyi

Ultrases hızı ile ölçüm ASTM C 597'ye göre yapılmıştır. Deneyde ultrasonik test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5). Ultrases hız ölçümü, 12 voltluk akümülatör ile çalışan dijital göstergeli Ultrases ölçme aleti ile yapılmıştır. Aletin önce sıfır ayarı

yapılarak kalibre edilmiştir. Numunelerin her iki yanına gres yağı sürülerek proplar ile numune arasında boşluk oluşması önlenmiştir. Beton numunenin bir ucuna ultrasesi oluşturan verici, diğer ucuna da malzeme içinden geçen ses dalgalarını alan bir alıcı yerleştirilmiştir. Alıcı tarafından tutulan ses dalgaları bir osilografa nakledilerek sesin örnek içinden geçiş zamanı tespit edilerek burada sesin örnekteki yayılma hızı bulunmuştur. Silindir üç adet numune üzerinde yapılan deney ile ses dalgaları geçirme süreleri ölçülmüştür. Ultrases hızı deney sonuçlarının değerlendirilmesinde mikro saniye (μsn) olarak Ultrases hızı geçiş süresi değerleri Denklem 3.3. ile hesaplanarak bulunmuştur.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.3)$$

V: Ultrases hızı (km/sn)

L: Numune boyu (km)

t: Ultrases geçiş süresi (sn)



Şekil 3.5. Ultrases aleti

3.2.3.6. Radyasyon Zayıflatma Katsayısının Ölçülmesi

Maddelerin radyasyon zayıflatma katsayılarının ölçümü Geiger-Müller (G-M) yöntemi ile radyasyon sayacı (Şekil 3.6) kullanılarak yapıldı. G-M gazlı sayaç olup, bu tip radyasyon algılama cihazlarının en yaygınıdır. İyonlayıcı radyasyonların gazlı ortamda meydana getirdikleri iyonların ölçülmesi esasına dayanır.

Bu amaçla kapalı bir kap içerisindeki gazlı ortama yerleştirilen iki elektrota bir gerilim kaynağı bağlanarak voltaj sıfırdan itibaren artırılarak, maruz bırakıldığı iyonlayıcı radyasyonların gaz içinde meydana getirdiği iyon çifti sayılarına göre, beş ayrı bölgede tanımlanır. Bunlar tekrar birleşme bölgesi, iyon odası bölgesi, orantılı bölge, geiger bölgesi ve sürekli deşarj bölgesidir.

G-M sayacı ile ölçüm yapmadan önce bu sayacın çalışacağı voltaj saptanmıştır. Bunun için ^{60}Co ve ^{137}Cs kaynağından yayılan γ -ışınları için G-M voltajı artırılırken belli bir potansiyelde sayım kaydedilmiştir. Sayaçta ölçüm yapılmaya başlandığı andan itibaren düz plato bölgesinde detektöre gelen tüm radyasyonların ölçülebileceği voltaj 340 volt olarak saptanmıştır.



Şekil 3.6. Radyasyon deneyinde kullanılan radyasyon sayacı

Daha önceden hazırlanan beton numuneler 5x5x2 cm. ve 5x5x4 cm. ebadında kestirilmiştir. Betonlar ölçüm alınacak bölüme yerleştirildikten sonra her numune için 10 adet ölçüm alınmıştır. Ölçümler önce boş iken sonra numune var iken

alınmıştır. Her değerin ortalaması alınmış ve hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır. Deneylede kobalt 60 ve sezyum 137 kaynakları kullanılmıştır. Her değerin ortalaması alınmış ve hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır. Sezyum 137 Kaynağı SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Uygulama Merkezinden temin edilmiştir.

I şiddetinde paralel bir gama radyasyon demeti, Δx kalınlığındaki bir soğurucuda ΔI kadar azalırsa elde edilir.

$$\Delta I = - \mu I \Delta x \quad (3.4)$$

Bu eşitliğin integrali alınırsa,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.5)$$

Burada I soğurucudan çıkan, I_0 da soğurucuya giren radyasyonun şiddetini, x soğurucunun kalınlığını, μ ise lineer soğurma katsayısını gösterir. Deneylede elde edilen suçlar denklem 3.4. ve 3.5.'de yerine konularak toplam kütlele zayıflatma ve lineer zayıflatma katsayıları ^{60}Co ve ^{137}Cs için hesaplanmıştır. Bu kaynakların enerjileri birbirinden farklıdır. ^{137}Cs enerjisi 662 keV, ^{60}Co kaynağının enerjisi ise 1250 keV dir.

3.2.3.7. Alkali Dayanıklılık Deneyi

ASTM C 1260 standardına göre harç numunelerin s/ç: 0,47, agrega/çimento: 2.25 olacak şekilde beton üretimi yapılmıştır. Numuneler kaptan çıkartıldıktan sonra ilk ölçümleri yapılmış ve 80 °C sıcaklıkta saf suya konulmuştur. 24 saat sonunda tekrar ölçümleri alınarak hazırlan 80 °C 1M NaOH çözeltisinde bekletilmeye başlanmıştır.

3.2.3.8.Sülfata Dayanıklılık Deneyi

Sülfata dayanıklılık deneyi, ASTM C 1012 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney sodyum sülfat (Na_2SO_4)çözeltisinde bekletilen harç çubuğu numunelerinin boy değişimlerinin tespiti esasına dayanmaktadır. Bu deney için s/ç oranı 0,485 olan 25x25x285 mm boyutlarında çubuk NB ve PB serilerine ait numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken s/ç oranı standarda uygun olarak 0,485

alınmıştır. Üretilen numuneler ilk gün 35 °C ve %100 bağıl nemli ortamda kür edilmelidir. Eğer numuneler ertesi gün 19.5 MPa dayanıma ulaşmış ise 23 °C'lik kirece doygun suda kür edilmelidir. Küp numuneler 19.5 MPa dayanıma ulaştığında çubuk numuneler %5 ve %10'luk sodyum ile magnezyum sülfat çözeltilerinde bekletilmeye başlanmıştır. 52 hafta boyunca çubuk numunelerin boy ölçümleri yapılmıştır.

3.2.4. Beton Karışım Hesapları ve Beton Üretimi

3.2.4.1. Beton Karışım Hesapları

Çalışmada; normal beton (NB) üretiminde, Isparta Atabey agregası kullanılarak kontrol betonları üretilmiştir. Agregası karışım oranları % 40 kum (dane çapı 0-4 mm) ve % 60 çakıl (4-16 mm.) alınmıştır. NB karışım hesapları, üretilecek betonun plastik kıvamda ve maksimum dane çapı 16 mm. olacak şekilde mutlak hacim yöntemine göre yapılmıştır. Yüksek performanslı hafif beton (YPHB) üretiminde hafif agregası olarak Isparta-Gölcük bölgesinden temin edilen pomza ve normal agregası kullanılmıştır. Tamamı pomza olmak üzere de hafif beton (PB) serisi betonlar üretilmiştir. Pomza tesislerde yıkanmış-elenmiş olarak 0-4, 4-8, 8-16 mm sınıflarında alınmıştır. Agregası boyutu 4 mm. den küçük olanlara ince malzeme ve 4 mm. den büyük olanlara da kaba malzeme denilmiştir. YPHB üretmek için pomza suya doygun hale getirilmiş, akışkanlaştırıcılık özelliği elde etmek ve dayanımı yüksek tutmak için katkı malzemesi kullanılmıştır. Katkı malzemesi sadece YPHB serisinde kullanılmıştır TS 802 'de belirtilen karışım suyu ve hava miktarları alınarak 1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak beton bileşenlerinin miktarları Denklem 3.6.'da yerine kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{C}{\delta_{\phi}} + S + \frac{A_1}{\delta_{A1}} + \frac{A_2}{\delta_{A2}} + H = 1m^3 \quad (3.6)$$

Burada

C : Karışımındaki çimento miktarı

δ_{ϕ} : Çimentonun yoğunluğu (kg/m³)

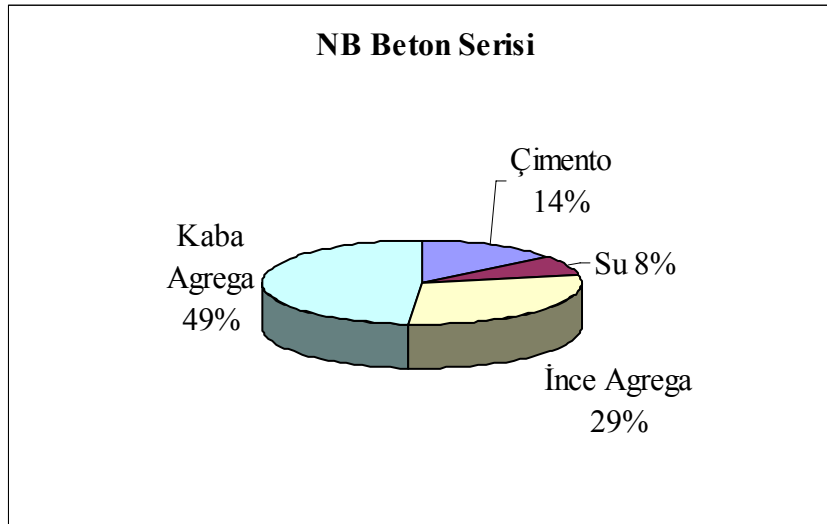
A₁ : Karışımındaki ince malzeme miktarı (kg)

- δ_{A1} : İnce malzemenin yoğunluğu (kg/m^3)
 A_2 : Karışımdaki kaba malzeme miktarı (kg)
 δ_{A1} : Kaba malzemenin yoğunluğu (kg/m^3)
 H : Karışımdaki toplam hava miktarı (m^3)

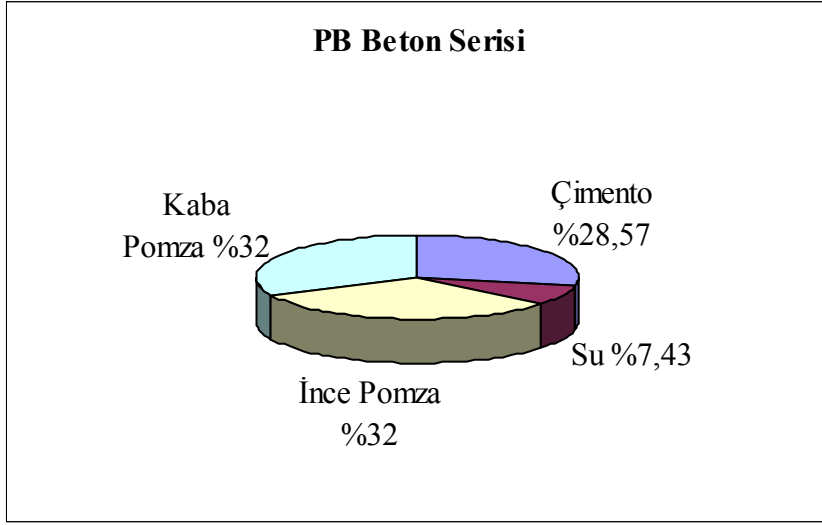
Karışımda 1 m^3 için kullanılan miktarlar Çizelge 3.7. ve karışım oranları Şekil 3.7., 3.8. , 3.9.' ve üretilen beton serilerin kodları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Üretilen betonların kodu ve karışım malzeme miktarları

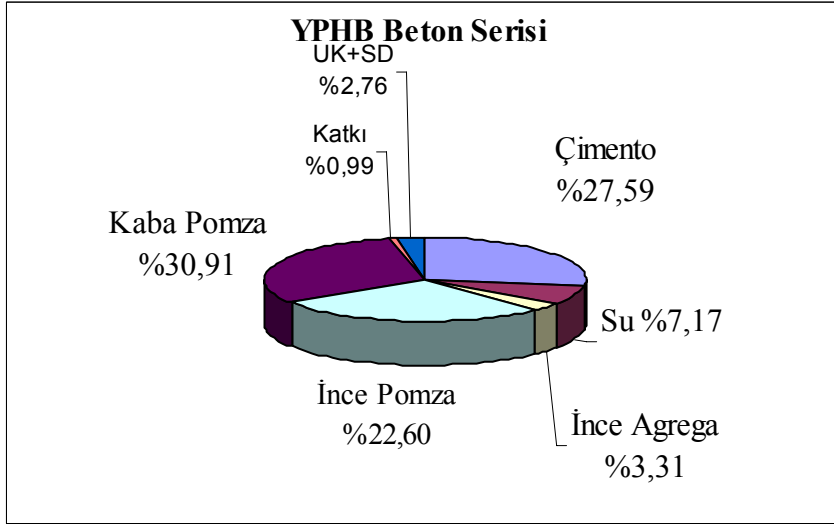
1m ³ beton bileşimindeki malzeme miktarları										
NUMUNE ADI	Çimento	Su	Agrega		Pomza		AER	FFN	UK	SD
			İnce Agregası	Kaba Agregası	İnce Pomza	Kaba Pomza				
NB	330	180	680	1130						
YPHB	500	130	60		500	560	12	6	30	20
PB	500	130			560	560				



Şekil 3.7. NB beton serisinin hacimce karışım oranları



Şekil 3.8. PB beton serisinin hacimce karışım oranları



Şekil 3.9. YPHB beton serisinin hacimce karışım oranları

Çizelge 3.8. Üretilen betonların kodları

NB	Normal Agregalı Beton
PB	Pomzalı Beton
YPHB	Pomza Ag.+N. Ag. Beton
YPDHB	Yüksek Performanslı Donatılı Hafif Beton
PDB	Pomza Agregalı Donatılı Beton
DNB	Donatılı Normal Agregalı Beton

3.2.4.2 Beton Üretimi

Beton karışımlarının üretimi 60 dm³ kapasiteli yatay zorlamalı betonyerde (Şekil 3.10) yapılmıştır. Beton karışım hesapları BS 30 betonu hedeflenerek yapılmış ve YPHB, NB ve PB serileri üretilmiştir. Çeşitli deneylerde kullanılmak üzere; her üç seri beton için 10 adet 150 x 300mm kübik numune, 7 adet 150mm standart silindir, 10 adet 100mm kübik numune ve 25 x 285mm çubuk numuneler üretilmiştir.



Şekil 3.10. Beton Üretiminde kullanılan beton mikseri

Eğilme dayanım deneylerinde kullanılmak üzere prizmatik donatılı olmak üzere 100 x 100 x 500 mm prizma betonları üretilmiştir. Her çeşit betonda donatılı ve donatısız olmak üzere iki ayrı numune kullanılmıştır. Eğilme deneyi için altı çeşit malzeme kullanılmıştır. Bunların iki tanesi YPHB ile YPDHB (donatılı), PB ile PDB (donatılı) ve diğer ikisi NB ile DNB (donatılı) dır. Donatı olarak S 420 çelik sınıfı kullanılmıştır. Donatılı numunelerde boyuna donatı olarak, 2φ8 basınç bölgesinde 4φ8 çekme bölgesinde olmak üzere toplam 6φ8 donatı kullanılmıştır. 10cm aralıklarla etriye konulmuş ve paspayı 1cm alınmıştır.

Karışıma giren agrega, pomza, su, çimento ve katkı üretilecek betonun koduna göre önceden tartılıp hazırlanmıştır. Harcı karıştırmada kullanılacak düşey eksenli cebri

karıştırılmalı mikser su yardımı ile nemlendirilmiştir. Önce agregalar mikser'e katılarak beş dakika karıştırılmış, sonra çimento katılarak üç dakika daha bileşimdeki kuru maddeler karıştırılmıştır. Daha sonra mikserdeki karışıma gerekli su ve katkıları ilave edilerek karıştırma üç dakika daha sürdürülmüştür. Numunelerin kıvamını belirlemek amacıyla abrams konisi ile çökme miktarları bulunmuştur.

Harç kalıplara üç aşamada konmuş ve her aşamada 10 sn. sarsma tablası aleti (Şekil 3.11) ile sarsılmıştır. Numunelerin üstü ıslak keten örtü ile örtülerek 24 saat kalıp içinde bırakılmış, bu sürenin sonunda lastik takozlar yardımıyla kalıptan çıkarılmıştır. Numuneler deneylerin yapılacağı güne kadar bağıl nemi % 65 olan ve sıcaklığı 22 °C olan kür odasında saklanmıştır (Şekil 3.12 ve 3.13).



Şekil 3.11. Beton üretiminde kullanılan 150mm kübik kalıplar ve sarsma tablası



Şekil 3.12. Kür odasında saklanan numuneler



Şekil 3.13. Kür odasında saklanan numuneler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Agregada Deney Sonuçları

4.1.1. Elek Analizine İlişkin Sonuçlar

Çizelge 4.1. Elek analizine ilişkin sonuçlar (0 mm-19,1 mm)

Elek No		N		P		Alt sınır	Üst sınır
		Elekten Geçen (%)	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)	Elekten Geçen (%)
3/4"	19,1	100	0	100	0	100	100
1/2"	12,7	76,34	23,66	77,35	22,65	75	82
3/8"	9,52	71,26	28,74	65,91	34,09	61	72
4#	4,76	50,53	49,47	50	50	40	58
8#	2,38	32,97	67,03	30,66	69,34	28	47
16#	1,19	22,68	77,32	23,38	76,62	18	35
30#	0,59	15,3	84,7	20,67	79,33	12	25
50#	0,297	9,84	90,16	13,01	86,99	7	14
100#	0,149	4,03	95,97	7,35	92,65	3	8
Toplam Kalan (%)			517,04		511,67		

Çizelge 4.2. Agregaların incelik modülü

	N1	P
İncelik Modülleri	5,17	5,12

Agregaların İncelik modülü Denklem 4.1. ile hesaplanmıştır.

$$Im k = \frac{\sum EK}{100} \quad (4.1)$$

Burada;

$\sum EK$:Toplam elekte kalan yüzde,(%)

Imk :İncelik modülüdür.

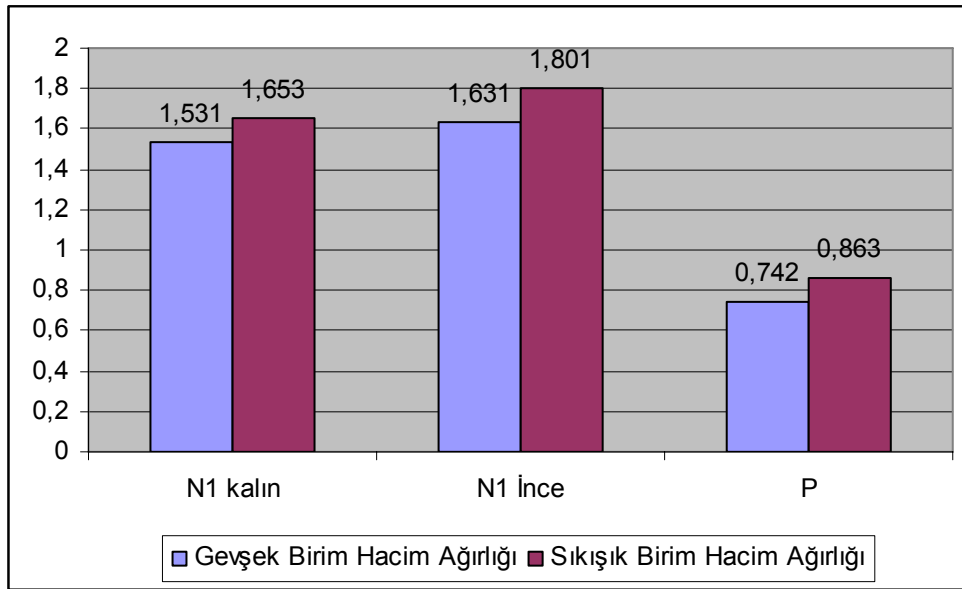
Agregaların elek analizlerinde Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) 304.2R-96 Komite Raporunda Pompa betonu için tavsiye edilen tuvanen agregata tane büyüklüğü dağılımı bölgeleri esas alınmıştır. Çalışmada kullanılan N ve P agregalarına ait elek analizi sonuçları tavsiye edilen alt ve üst sınırlar içinde kalmıştır.

Betonda agregata karışımı granülometrisinin A_{16} - B_{16} eğrileri arasında olduğu zaman

- En yüksek doluluk oranı,
- En az su miktarı ile kalıba iyi yerleşebilecek kıvam,
- Taze betonda ayrışmayı (segregasyon) önlemek ve yapışkanlığı (kohezyonu),
- Taze betonun iyi ve kolay yerleşmesi ve
- Taze betonda terlemenin azalması sağlanmış olur.

4.1.2. Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık deneyinde sıkışık ve gevşek olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Birim ağırlık deneyinde her bir agregata örneğinin birim ağırlık değerleri Çizelge 4.3. ve Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Agregaların birim ağırlık değerleri

Çizelge 4.3. Agregas birim ağırlık deneyi sonuç değerleri

Agrega Türü	Deney Yöntemi	En Büyük Agregas Dane Çapı (mm)	Ölçek Kabı Boş Ağırlık (gr)	Ölçek Kabı İç Hacim (cm ³)	Agregas Ağırlığı (gr)	Agregas Birim Ağırlığı (gr/cm ³)	Ortalama Birim Ağırlık (gr/cm ³)
N (19,1 - 4,76 mm)	Gevşek	19,1	7590	9400	14450	1,537	1,531
		19,1	7590	9400	14470	1,539	
		19,1	7590	9400	14260	1,517	
	Sıkışık	19,1	7590	9400	15560	1,655	1,653
		19,1	7590	9400	15610	1,661	
		19,1	7590	9400	15440	1,643	
N (4,76 -0 mm)	Gevşek	4,76	4870	3000	4850	1,617	1,631
		4,76	4870	3000	5000	1,667	
		4,76	4870	3000	4830	1,61	
	Sıkışık	4,76	4870	3000	5490	1,83	1,801
		4,76	4870	3000	5320	1,773	
		4,76	4870	3000	5400	1,8	
P (Tüvanan)	Gevşek	19,1	4870	3000	6860	0,746	0,742
		19,1	4870	3000	6900	0,734	
		19,1	4870	3000	7010	0,746	
	Sıkışık	19,1	4870	3000	8110	0,863	0,863
		19,1	4870	3000	8120	0,864	
		19,1	4870	3000	8100	0,862	

Çalışmada kullanılan N ve P agregalarının gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerlerinin limit değerler içinde kaldığı gözlenmiş olup, P agregasının birim ağırlık olarak hafif agregas standartlarına uygun değerler aldığı belirlenmiştir.

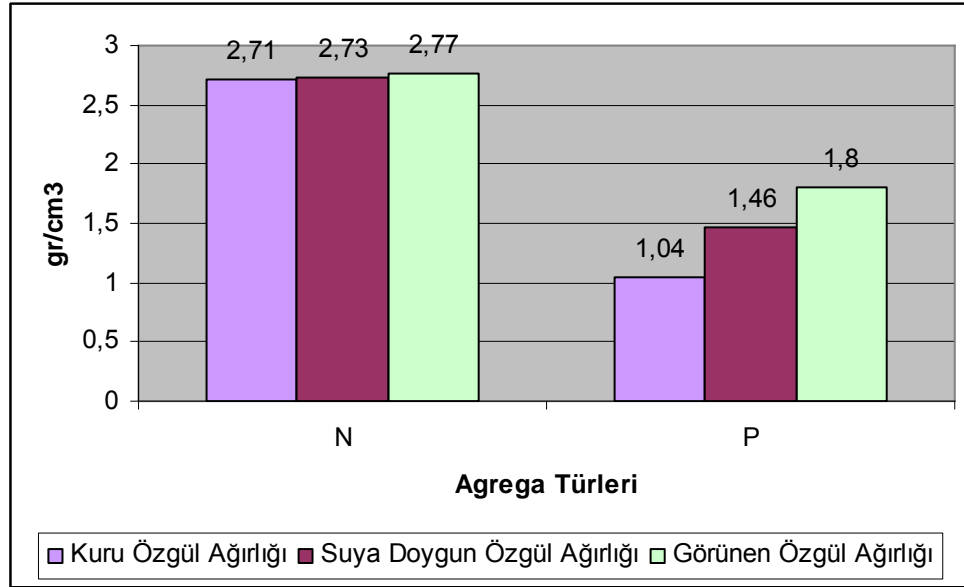
4.1.3. Özgül Ağırlık ve Su Emmeye İlişkin Sonuçlar

Agreganın kökeni hakkında da fikir veren bu özellik genel olarak 2.4 – 2.8 gr/cm³ arasında değer almaktadır. Özgül ağırlığı 2.4 gr/cm³'den düşük agregalar hafif agregalar olarak adlandırılır. Özgül ağırlık ve su emmeye ilişkin sonuçlar Çizelge

4.4, Çizelge 4.5., Çizelge 4.6., Çizelge 4.7. ile Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Agregaların (4,76 mm üstü) özgül ağırlık deney sonuçları

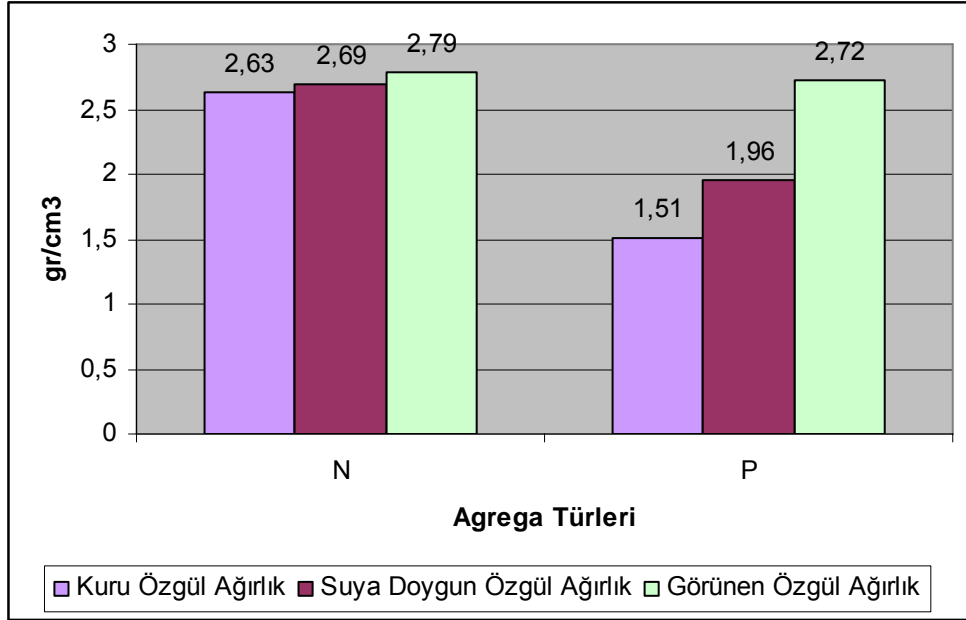
Agrega Türü	Deney Numunesinin			Kuru Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Suya Doygun Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Görünen Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)
	Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)	Su İçindeki Ağırlığı (gr)	Etüv Kuru Ağırlığı (gr)			
N	1600,00	1014,00	1588,30	2,71	2,73	2,77
P	527,10	166,50	374,92	1,04	1,46	1,80



Şekil 4.2. Agregaların özgül ağırlık deney sonuçları (4,76 mm üstü)

Çizelge 4.5. Agregaların özgül ağırlıkları (4,76 mm altı)

Agrega Türü	Deney Numunesinin			Kuru Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Suya Doygun Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	Görünen Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)
	Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)	Su İçindeki Ağırlığı (gr)	Etüv Kurusu Ağırlığı (gr)			
N	200	858,62	195,63	2,63	2,69	2,79
P	200	831,15	154,34	1,51	1,96	2,72



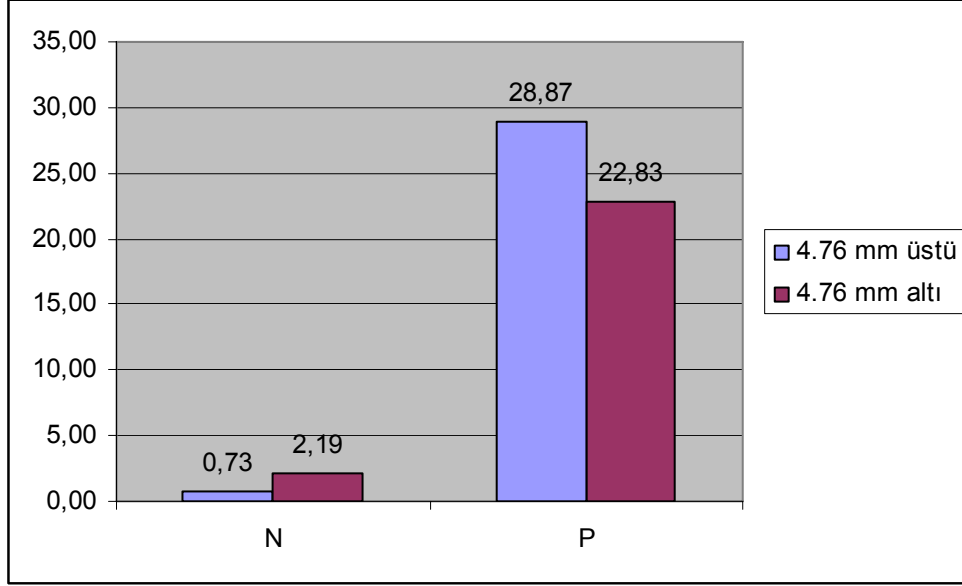
Şekil 4.3. Agregaların özgül ağırlıkları (4,76 mm altı)

Çizelge 4.6. Agregaların (4,76 mm üstü) su emme deney sonuçları

Agrega Türü	Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)	Etüv Kurusu Ağırlığı (gr)	Su Emme (%)
N	1600,00	1588,30	0,73
P	527,10	374,92	28,87

Çizelge 4.7. Agregaların (4,76 mm altı) su emme deney sonuçları

Agrega Türü	Doygun Kuru Yüzey Numune Ağırlığı (gr)	Etüv Kuru Ağırlığı (gr)	Su Emme (%)
N	200	195,63	2,19
P	200	154,34	22,83



Şekil 4.4. Agregaların su emme yüzdeleri

Özgül ağırlık deneyleri esas olarak beton karışımları hesabında önemlidir. Yüksek özgül ağırlığa sahip agregalar genellikle don mukavemeti ve dayanıklılık bakımından etkilidir.

4.1.4. Agregaların Sodyum Sülfata Karşı Dayanıklılığı

Agreganın dona dayanımını tespit etmek için kimyasal yöntem ile yapılan deney sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Sodyum sülfat ile dayanıklılık tayini deney sonuçları

	N	P	ASTM C 88
Kayıp miktarı (%)	3,95	22,00	12 (iri agrega)
			10 (ince agrega)

4.2. Taze Beton Deneyine İlişkin Sonuçlar

Çalışma kapsamında üretilen çeşitli beton serilerinin fiziksel özellikleri Çizelge 4.9.'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Betonların birim ağırlığı ve su emme yüzdeleri

Beton Serisi	Ortalama Doygun Birim Ağırlığı (kg/m ³)	Ortalama Kuru Birim Ağırlığı (kg/m ³)	Ortalama Su Emme Miktarı (%)
NB	2,486	2,440	1,90
PB	1,710	1,570	8,92
YPHB	1,520	1,421	6,97

Taze betonun abrams konisi ile yapılan çökme deney değerleri Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Üretilen beton numunelerin çökme miktarları

Beton Kodları	Çökme miktarları (mm.)
NB	42
PB	58
YPHB	47

4.3.Sertleşmiş Beton Deneilerine İlişkin Sonuçlar

Sertleşmiş beton deneylerinden birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, özgül ağırlık ve su emme, yüzey sertliği ile yaklaşık basınç dayanımı, ultrases, Geiger-Müller Sayacı Yöntemi ile radyasyon ölçümü, sülfatların beton numunelerin radyasyon geçirgenliklerine etkisi ve sülfat etkisi altındaki betonun mekanik özelliklerindeki değişimler ile ilgili deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda 7, 28 ve 90 günlük örnekler üzerinde analizler yapılmıştır.

4.3.1. Sertleşmiş Betonun Birim Ağırlığı

Çizelge 4.11. Sertleşmiş beton birim ağırlık değerleri

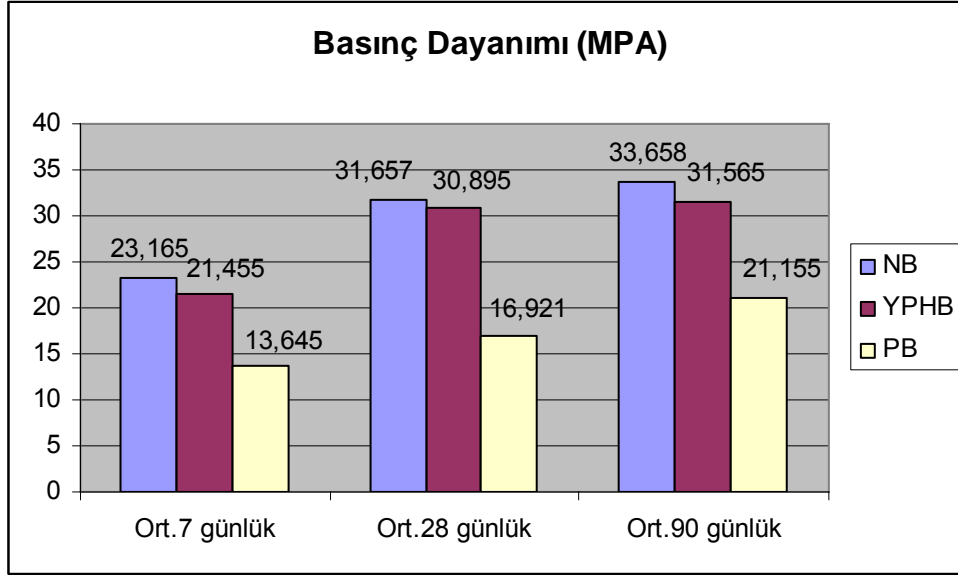
Beton Türü	NB	YPHB	PB
Ortalama Birim Hacim Ağırlık (kg/dm ³)	2,38	1,78	1,59

4.3.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları

Sertleşmiş beton numunelerinin tek eksenli basınç dayanım değerleri Çizelge 4.12. ve Şekil 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Sertleşmiş betonların basınç dayanımları

Beton Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)		
	Ort.7 günlük	Ort.28 günlük	Ort.90 günlük
NB	23,165	31,657	33,658
YPHB	21,455	30,895	31,565
PB	13,645	16,921	21,155



Şekil 4.5. Betonların basınç dayanımları

4.3.3. Eğilme Dayanımı Sonuçları

Beton prizmalar üzerinde yapılan eğilme deneyi sonucunda YPHB ve NB da gevrek kırılma meydana gelmiş ve numuneler fazla deformasyon yapmadan orta noktalarına yakın bölgelerinden ikiye ayrılmışlardır. YPDHB numunelerinde ise kesme kırılması (Şekil 4.6) meydana gelmiş, numuneler başlangıçtan 15 cm. uzaklıkta deformasyon yaparak önce basınç bölgesinden başlayarak kırılmaya başlamış ve yük artmayarak deformasyon yapmaya devam etmiş sonunda çatlağın olduğu bölgede kırılma meydana gelmiştir. DNB ise kirişin orta bölgesinde başlangıçta küçük çatlaklar oluşmuş yük taşımaya devam etmiş ve belli bir süre sonunda kırılmıştır. Eğilme dayanım deney sonuçları Çizelge 4.13. ve 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Eğilme deney sonucu kırılma biçimi

Çizelge 4.13. donatısız betonların eğilme dayanım değerleri

Beton Tipi	YPHB	NB	PB
28 günlük (MPa)	4,25	4,62	3,35

Çizelge 4.14. Donatılı betonların eğilme dayanım değerleri

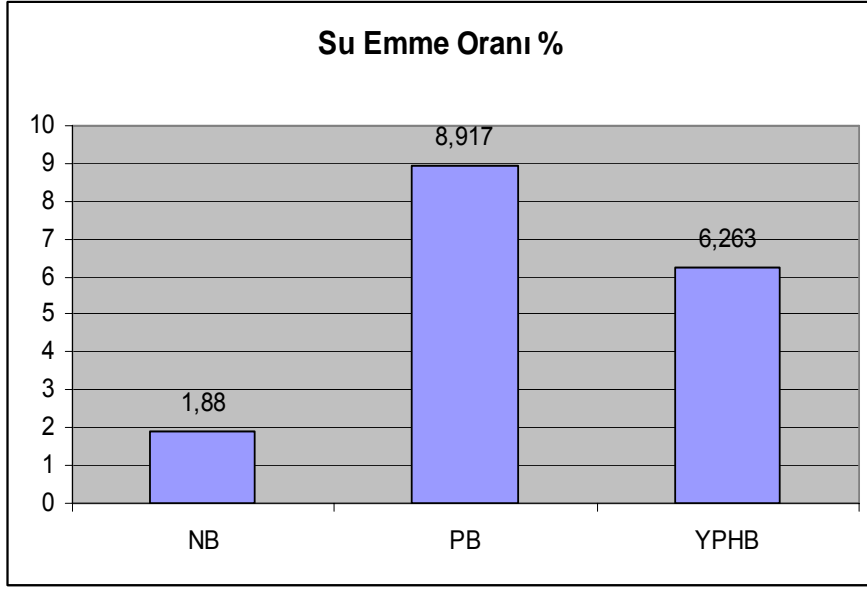
Beton Tipi	YPDHB	DNB	DPB
28 günlük (MPa)	6,55	7,26	5,57

4.3.4. Sertleşmiş Betonların Özgül Ağırlıkları ve Su Emme Sonuçları

Sertleşmiş betonların özgül ağırlık ve su emme değerleri Çizelge 4.15. ve Şekil 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Betonların özgül ağırlık ve su emme sonuçları

Beton Türü	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık (gr/cm ³) Ort.	Kuru Özgül Ağırlık (gr/cm ³) Ort.	Görünen Özgül Ağırlık (gr/cm ³) Ort.	Su Emme Yüzdesi (%) Ort.
NB	2,44	2,396	2,51	1,88
PB	1,00	0,918	1,00	8,917
YPHB	1,529	1,439	1,582	6,263



Şekil 4.7. Betonların su emme oranları

4.3.5. Yüzey Sertlik Dayanımı Sonuçları

Yüzey sertlik dayanım sonuçları Çizelge 4.16.'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Betonların yüzey sertlik dayanım sonuçları

Beton Türü	Tahmini Schmidt Sertlik Sayısı Ort.	
	90°	0°
NB	284	286
PB	227	239.5
YPHB	282,5	333.5

4.3.6. Ultrases Deney Sonuçları

Çizelge 4.17. Betonların ultrases sonuçları

Beton Türü	Ultrases Hızı (m/s)
NB	5036.67
PB	3473.33
YPHB	3730

Deneysel çalışmalarda kullanılan N agregasına ait bulunan sonuçlar 4.3 km/sn'den büyük olup beton yapımında hiçbir sakınca olmadığı tespit edilmiştir. P agregasına ait ultrases deney sonuçları ise 3.06 km/sn büyük olduklarından şüpheli beton sınıfına girmemektedir.

4.3.7. Radyasyon Zayıflatma Katsayısının Ölçüm Değerleri

Yapılan radyasyon geçirgenlik deneylerinde sezyum ve kobalt kaynakları kullanılarak elde edilen deney sonuçları Çizelge 4.18. ve 4.19.'da verilmiştir.

Çizelge 4.18. ⁶⁰Co kaynağı ile numune üzerinden alınan soğurma katsayısı

Numune	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)	μ
NB	0,635	0,197
PB	0,475	0,06
YPHB	0,424	0,048

Çizelge 4.19. ¹³⁷Cs kaynağı ile numune üzerinden alınan soğurma katsayısı

Numune	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)	μ
NB	0,635	0,175
PB	0,475	0,080
YPHB	0,424	0,0275

4.3.8. Alkali Dayanıklılık Deney Sonuçları

Alkali dayanıklılık deney sonuçları Çizelge 4.20.'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Alkali dayanım sonuçları

Gün	PB1	PB2	NB1	NB2
	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH
1	285,38	284,4	284,01	284,82
2	285,38	284,33	283,48	283,58
3	284,47	284,38	283,36	283,61
6	284,34	284,42	283,38	283,62
7	284,3	284,4	283,35	283,43
8	284,37	284,37	283,27	283,47
9	284,33	284,31	283,38	283,5
13	284,5	284,42	282,36	283,44
14	284,35	284,45	283,28	283,5
15	284,44	284,41	282,36	283,55
16	284,53	284,12	282,29	283,65
17	284,3	284,33	282,32	283,56
20	284,29	284,28	282,34	283,42
24	284,42	284,34	283,26	283,42
34	284,4	284,6	283,44	283,1
36	284,59	284,52	283,48	283,79
38	284,41	284,48	283,48	283,68
71	284,37	284,48	283,61	283,93
72	284,3	284,38	283,2	283,5
78	284,42	284,5	283,62	283,96

4.3.9. Sülfat Dayanıklılık Deney Sonuçları

Sülfat dayanıklılık deney sonuçları Çizelge 4.21.'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Sülfat dayanıklılık deney sonuçları

Numuneler	Bağıl Nem MPa	13 Haftalık Suda MPa	Na ² SO ⁴ Çözeltisinde MPa
Normal Ag. Beton	20,5	21,3	19,8
Pomza Ag. Beton	20	20,9	19,6

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında Isparta bölgesinde halen hazır beton yapımında kullanılan pomza ve normal agregaya numuneleri ile agregaya yeterlilik deneyleri yapılmış, agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Ocaklarından getirilen agregalar ile laboratuvar ortamında (YPHB, NB ve PB) beton serileri üretilmiştir. Elde edilen betonların basınç dayanım değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada agreganın ve katkı malzemesinin betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Isparta bölgesindeki pomza ve normal agregaya ile yapılan agregaya deneylerinde, pomzanın hafif agregaya sınıfına girdiği, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme değerlerinin normal agregaya değerlerinden çok farklı çıktığı görülmüş ve bu agregayı hafif agregaya ile karşılaştırma yapmanın uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Atabey agregası ise normal agregaya değerleri sınırları içerisinde olduğundan normal agregaya sınıfında olduğu görülmüştür.

Betonların donma olayı karşısında parçalanmamasında en önemli rol, agregaya taneleri tarafından oynanmaktadır. Bu nedenle beton üretiminde kullanılan agregaların donma etkisine karşı dayanıklı olması gerekir. Atabey agregasındaki kayıp standartta belirtilen sınırlar içerisinde kamıştır. Ancak pomza şüpheli sınırdadır kalmıştır. Bu agregaya ile yapılacak beton karışımında iyileştirme yapılmalıdır.

Betonların birim ağırlıklarına bakıldığında YPHB serisinin istenildiği gibi hafif beton sınıfına girdiği ve normal beton ağırlığından yaklaşık %30 daha hafif bir beton elde edildiği görülmüştür.

Betonların basınç dayanımları karşılaştırıldığında PB serisinin BS20 beton sınıfına girdiği NB ve YPHB serisinin ise istenildiği gibi BS30 beton sınıfına girdiği görülmektedir. Pomza ile hafif beton elde edilirken mineral ve kimyasal katkıları kullanarak elde edilen betonun basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. NB ve YPHB nin basınç dayanımlarının aynı olması hedeflenmiş ve sonuçta birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir.

Eğilme deney sonuçları incelendiği zaman NB serisine ait eğilme dayanım değerleri aynı beton sınıfında olmasına rağmen YPHB serisine ait değerlerinden yaklaşık % 10 daha yüksek çıkmıştır. Bu oran donatılı betonlarda ise %11 olmuştur. YPDHB in kırılma biçimi DNB kırılma biçiminden farklı olmuştur.

Betonların su emme oranları incelendiği zaman en düşük değerin NB serisine ait olduğu görülmüştür. Hafif agregaların su emme yüzdesi yüksek çıktığı için bu da bileşimine girdiği PB serisinin su emme yüzdesini artırmıştır. Beton üretiminde kimyasal ve mineral katkı kullanılmasıyla su emme oranının bir miktar olsun azaldığı görülmüştür.

Ultrases hızı ve yüzey sertlik değerleri aynı şekilde paralellik göstermiştir. En düşük değer PB ve en yüksek değerde NB serisinde görülmüştür. Bu deney sonuçlarına göre betonların kalitesini değerlendirecek olursak; NB 5,036 km/s ile mükemmel beton, PB 3,473 km/s ile şüpheli beton ve YPHB de 3,73 km/s ile iyi beton sınıfına girmektedir.

⁶⁰Co ve ¹³⁷Cs kaynağı kullanılarak Geiger-Müller sayacı yöntemi kullanılarak elde edilen en yüksek lineer azaltma katsayısının NB betonuna ait olduğu görülür. PB ve YPH serilerine baktığımızda bu betonlara ait değerlerin iyi olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ise iki seri betonun da yapısı gözeneklidir ve bu yüzden radyasyonun geçmesine elverişli yapıya sahiptirler.

Dayanıklılık deney sonuçlarını incelediğimizde ASTM C 1260 standardına göre yapılan deneyde beton numunelerden alınan sonuçlar belirtilen standartlar içerisinde kalmış ve zararsız davranış sergilemişlerdir. ASTM C 1012 standardına uygun olarak yapılan diğer dayanım deneyinde sonuçlar belirtilen sınırlar içinde kalmıştır. Normal agregalı betonlar sülfata dirençli, pomza agregalı betonlar ise orta derecede sülfata direnç göstermişlerdir.

Yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi normal agregalı ile üretilen betonların basınç dayanımları, eğilme dayanımları, durabilite özellikleri, radyasyon geçirimsizlik katsayıları, donatı dayanıklılık sonuçları standartlarda istenilen kriterlere uygun görülmüştür.

Değişik katkılar kullanılmak sureti ile elde edilen YPHB serisinin basınç dayanımları yüksek çıkmasına rağmen eğilme dayanımları, sülfata dayanıklılık, dona dayanıklılık, radyasyon katsayıları (basınç dayanımları kadar) PB serisinin değerlerinden çok farklı olmadığı görülmüştür. Bu yüzden pomza ile üretilen yüksek dayanımlı betonların bu özelliklerinin de iyileştirilmesi çalışmalarına devam edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Ağırdır, M. L., 1989. Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Briket İmalatı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 s, Konya.
- Akçaözoğlu, K., 2007. Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı Ve Birim Kısalma Üzerindeki Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Akman, M.S. (1992). "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi". İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul.
- Akman, M.S. (1996). "Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması",TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 4. Ulusal Beton Kongresi.
- Al-Khaiat, H., Haque, M.N., 1998. "Effect of Initial Curing on Early Strength and Physical Properties of Lightweight Concrete", Cement And Concrete Research, No. 28, 859-866.
- Altun, İ. A., 2001. Effect of temperature on the mechanical properties of self-flowing low cement refractory concrete. Cement and Concrete Research. 31 (8), 1233-1237.
- Arda, A., 1994. Hafif Betonlarda Agrega Konsantrasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65 s, İstanbul.
- Arıcı, E., 1997. Van Yöresi Volkanik Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi ve Taşıyıcı Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77 s, Elazığ.
- Aşık, İ., Şen, Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., Bayrak, E., 2004, 'Alkali Agrega Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi', Beton 2004, İstanbul.
- Aydın, N., 2001. Pomza Taşından İmal Edilen Hafif Yapı Elemanlarının Isıl Performans ve Mukavemet Özelliklerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s, Niğde.
- Azanbaeva, S., 1998. Genleştirilmiş Ferrokrom Cürufundan Preslenmiş Duvar Elemanları. ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 s, Ankara.
- ASTM C 1012, Standart Test Method for Length Change of Hydraulic- Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, Annul Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA.
- Baradan, B., 1997. Yapı Malzemesi-II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, s.174–176, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, B. 2003. "Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler" Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 4/ 426.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık, DEÜ, Mühendislik Fakültesi Yayınları, s282, İzmir.
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II. DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları Yayın No: 207, 221 s. İzmir.

- Başığit, C., Akkurt, I., Altındağ, R., Kılınçarslan, Ş., Akkurt, A., Mavi, B., Karagüzel, R., 2004. "The effect of Freezing-Thawing (F-T) Cycles on the radiation Shielding Properties of Concretes" Building and Environment .
- Bingöl, A. F., 2002. Pomza İle Üretilen Hafif Betonların Yangına Karşı Dayanımı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77 s, Erzurum.
- Cebeci, C., 1991. Betonda Su/Çimento – Mukavemet İlişkisi Üzerine Bir Araştırma. Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans, 72s, Adana.
- Çankıran, O., Serin, G., Sancak E., 1998, Pomza Taşı Hammaddesinin Kullanıldığı Sektörler, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 59–67, Isparta.
- Çınar, B., 2000. Karapınar Volkanik Agregasından İmal Edilen Hafif Betonların Aderans Davranışı Üzerine Deneysel Bir İnceleme. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 s, Konya.
- Cülfik, M. S., Özturan T., 2002. Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar. Cement and Research, 32 (5), 809-816.
- DPT, 2001. Pomza, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu, 23 s. Ankara.
- Davraz, M., Yiğit, Y., Gündüz, L., 1997. Granülomertik Pomza Tanelerinin Çatı ve Taban Döşemede Değerlendirilebilirliği. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 195-205, Isparta.
- Davraz, M., 1998. Isparta Pomzasının Hafif Agrega Olarak Değerlendirilmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73 s, Isparta.
- Demirboğa, R., 1999. Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza İle Üretilen Hafif Betonların Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 147 s, Erzurum.
- Deniz, V., 1997. Isparta Yöresi İki Farklı Pomzanın Kırılma Özelliklerinin İncelenmesi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 207-211, Isparta.
- Erdoğan Y.T., 1995. Karışım ve Bakım Suları, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. METU Press, 738 s. Ankara.
- Erdoğan T.Y. 2007. "BETON". ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.Ş. Genişletilmiş 2. Baskı. Ankara.
- Erdoğan, E., 2006. Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Ersoy, U ve Özcebe, G, 2001; Betonarme, Evrim Yayınevi, 50-51, 721-728 Gencer, Ö., 2000. Pomza Katkılı Bimsbeton Bloklar ile Yapılmış Yığma Yapı Üzerinde Deprem Etkisinin Araştırılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76 s, Isparta.
- Giaccio G., Rocco, C., Violini, D., Zappitelli J., Zerbino, R., 1992. "High-Strength Concrete Incorporating Different Coarse Aggregates", ACI Matter, No. 89(3), 242-246.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998 (b). Pomza Teknolojisi Cilt II. 203 s. Isparta.

- Güllüce, H., 1997. Pasinler (Demirdöven) Yöresinde Çıkarılan Pomzanın Isı Yalıtımlı Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65 s, Erzurum.
- Gür, K., Zengin, M., Uyanöz, R., 1997. Pomzanın Tarım ve Çevre Açısından Önemi. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 125-132, Isparta.
- Hague, M.N., Al-Khaiat, H., Kayalı, O., “Strength and Durability of Lightweight Concrete”, Cement and Concrete Composites, No. 26, 307-314, 2004.
- Hüsem, M., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 170 s, Trabzon.
- İlhan, S., Nurbaş M., Ekmekçi S., Özdağ, H., 1997. Pomzanın Biyoteknolojide Adsorbant Olarak Kullanımı. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 39-46, Isparta.
- Kalifa P., Menneteau F.D. ve Quenard D., 2000, “Spalling and Pore Pressure in HPX at High Temperatures”, Cement and Concrete Research, sayı 30, syf 1915-1927.
- Karahan, O., 2006. Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Adana.
- Kaşıkkara-Pazarlıoğlu, N., Telefoncu A., 1997. Pomzanın Fenol İçeren Endüstriyel Atıksuların Biyokimyasal Arıtımında Kullanılması. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 25-30, Isparta.
- Kaya, A., 2002. Styropor Kullanılarak Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91 s, Elazığ.
- Kılınçarslan, Ş., 2004. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, D. Tezi, 125s, Isparta.
- Kılınçarslan Ş., Başyigit, C., Uzun, I., Kaçar, A., 2005. “Pomzanın Radyasyon Soğurma Katsayısının Araştırılması” II. Isparta Pomza Sempozyumu. 51-54, Isparta
- Kırca, S., 2001. Sütçüler-Menteşe Çakıl Agregasının Beton İmalinde Kullanılmasının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 88s, Isparta.
- Kok, S.C., Min-Hong, Z., 2002. “Water Permeability and Chloride Penetrability of High-Strength Lightweight Aggregate Concrete”, Cement and Concrete Research, No. 32, 639-645.
- Mahdy, M., Speare, P. R. S., Abdel-Reheem, A. H., 2002. Effect of transient hightemperature on heavyweight, high strength concrete. 15th ASCE Engineering Mechanics Conference. Columbia University, New York.
- Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. 1997. “Concrete Microstructure, Properties and Materials Indian Edition, India
- Mindess, S., Young, J. F., 1987. Concrete, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

- Mol, F., 2001. Değişik Oranlardaki Pomza-Zeolit Karışımlarının Kimi Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57 s, Bursa.
- Nevile, A, M, 2002; Properties of Concrete, Fourth and Final Edition Standards, Pearson, Prentice Hall,18–119, 670–674.
- Nilsen, A.U., Monteiro, J.M., Gjorv, O.E.,1995. “Estimation of the Elastic Modulus of Lightweight Aggregate”, Cement And Concrete Research, No. 25(2), 276- 280.
- Onar, A. N., Balkaya N., Öztürk B., 1997. Pomza Taşının Su Arıtım Teknolojisinde Kullanımı. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 31-38, Isparta.
- Özcan, F., 2005. Silis Dumanı İçeren Harç Ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür İle Dayanım Tahmini. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Adana.
- Öztok, İ., 1997. Yüksek Dayanımlı Doğal Hafif Agregalı Beton. ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 149 s, Ankara.
- Poon, C.S., Shui Z.H. ve Lam L., (2004), “Compressive Behavior of Fiber Reinforced High-Performance Concrete Subjected to Elevated Temperatures”, Cement and Concrete Research, Uncorrected proof.
- Postacıoğlu, B., 1987; Beton Cilt:2 (Agregalar ve Beton), Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 233-234, 344–345, 397–401.
- Sancak, E., 1999. Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif kullanımının Etkisi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78 s, Isparta.
- Sancak, E., 2005. Silis Dumanı Katkılı Bims Betonların Özellikleri. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Saraylı, M.A., 1978. Yapı Malzemeleri Bilimi, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Sari, D., Paşamehmetoğlu, A.G., 2005.“The Effects of Gradation and Admixture on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete”, Cement And Concrete Research, No. 35(5), 936-942.
- Sarıışık, A., Şahin, B., 1997. Isparta Pomzasının Aşındırma-Parlatma Karakteristiğinin İrdelenmesi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 53-60, Isparta.
- Subaşı, S., Kap, T., Beycioğlu, A., Emiroğlu, M., 2008. Hafif Betonlarda Basınç Dayanımlarının Tahmin Edilmesinde Kullanılan Farklı Tahmin Metotlarının Karşılaştırılması. Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu- BMYS. 2008. 15 – 17 Ekim. Eskişehir.
- Serin, G., 1999. Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elemanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106 s, Isparta.
- Sezgin, M., 1999. Diatomitin Hafif yapı Eldesinde Değerlendirilebilirliği. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81 s, Isparta.
- Şahin, R., 1996. Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun mukavemetin araştırılması, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Şimşek, O., 2000 Yapı Malzemesi-II, Beta Yayınevi, İstanbul.

- Şimşek, O., 1987. Madenşehir (Konya-Karaman) Doğusundaki Ponza Taşının Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 39 s, Ankara.
- Taşdemir, M.A. 2005. Betonun Dayanım ve Dürabiliteye göre Tasarım ve Üretimi. İMO İstanbul Şubesi, Beton Kurs Notları, 15 s.
- Temoçin, Z., 2000. Bazı Ağır Metallerin Mikroorganizma İmmobilize Edilmiş Ponza Taşında Adsorpsiyon Şartlarının Araştırılması. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64 s, Kırıkkale.
- Topçu, İ.B., 1997. "Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags", Cement And Concrete Research, No. 27, 15-21.
- Topçu, İ.B., Boğa, A.R., 2004. "Prefabrik Beton Direklerde Alkali- Silika Reaksiyonunun İncelenmesi", 11. Beton Prefabrikasyon Sempozyumu, İzmir.
- Topçu, İ.B. 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset, 570 s., Eskişehir.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M., Sarıdemir, M., 2008. Kimyasal Etki Altında Kalmış Alkali Aktiveli YFC'li Harçların Basınç Dayanımlarının YSA ve Bulanık Mantık Kullanılarak Tahmin Edilmesi. Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS, 5 – 17 Ekim. Eskişehir.
- TS 802, 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları, Tük Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1114, 1986. (Tadil: 1987.10.13).Hafif Agregalar-Beton İçin, Türk Standartları Enstitüsü, 17 s. Ankara.
- TSE, "TS 2511/1977 Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları", Ankara.
- TS 3234, 1978. Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, 30 s. Ankara.
- TÇMB, 2002, 'Alkali- Silika Reaksiyonunun Minearl ve Kimyasal Katkılar Yardımı İle Kontrol Altına Alınması, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 33,45 s. İzmir.
- Türkmen, İ., 1997. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83 s, Erzurum.
- Ulus, İ., 2007. Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi.
- Uğurlu, A., 1989, Betonda Agreg Granülometrisinin Düzenlenmesi ve Önerilen Bir Yöntem: Fuller Parabolü, D.S.İ. Teknik Bülteni, sayı:69, s. 45-49, Ankara.
- Uysal, H., 1996. Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun ısı geçirgenliğinin araştırılması, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Yang, C.C., Huang, R, 1996. "A Two-Phase Model for Predicting the Compressive Strength of Concrete", Cement And Concrete Research, No. 26(10), 1567-1577.
- Yaşar, E., Atis, C., D., Kilic, A., Gulsen, H., 2003. "Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash", Materials Letters, No. 57, 2267-2270,
- Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2006. Pomza Ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 4, 675–680.

- Yeğinoğlu A., 1993. Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, s.149–167. Ankara.
- Yeniboğalı, A., 1999. “Betonun Dayanıklılığı II, Kimyasal Etkenler”, TCMB Çimento Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara.
- Yıldırım, H., 1995. Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, D. Tezi, 110s, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Meryem Bilgiç

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1979

Medeni Hali : Bekar

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Ön Lisans : 1998 – 2000 Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Meslek Yüksek Okulu,
İnşaat Bölümü

Lisans : 2003 – 2006 Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim
Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

Y.Lisans : 2006-... Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi ABD.

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

2001 – 2002 Çağdan A.Ş. Tekniker - Ankara

2006 – 2007 BETAŞ Beton Prefabrik - Isparta

2008 - YOLSU mühendislik - Ankara