

**POMZA VE PERLİTİÇERİKLİ HAFİF
BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayşe KOPUZ

TEKİRDAĞ-2012

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POMZA VE PERLİT İÇERİKLİ HAFİF BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ÖZTÜRK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. AYŞE KOPUZ

TEKİRDAĞ-2012

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Ayşe KOPUZ danışmanlığında, İnşaat Mühendisi MustafaÖZTÜRK tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Ayşe KOPUZ

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Güler GAYGUSUZOĞLU

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POMZA VE PERLİT İÇERİKLİ HAFİF BETONUN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ÖZTÜRK

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayşe KOPUZ

Gelişen ve küreselleşen dünyada enerji ihtiyacının artmasına karşın kısıtlı enerji kaynakları nedeniyle verimli enerji kullanımı gündeme gelmiştir. Enerji ihtiyacının artması, beton teknolojisinde de enerji verimliliğine önem kazandırmış ve bu kapsamda betona ısı ve ses yalıtım özelliği kazandırılmak istenmiştir.

Bu çalışmada beton karışımında hafif agregalar kullanılarak betonun birim kütlesi düşürülmüş, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş ve ısı yalıtım özelliği verilmek istenmiştir. Bu nedenle, çeşitli oranlarda hafif agregalar ve EPS kullanılarak üretilen hafif beton numuneleri (15X15X15) cm³ ebatlarında küp şeklindeki kalıplara yerleştirilmiştir. 24 saat sonra kalıplardan çıkarılan numuneler 23°C suda 7-28 gün bekletilmiştir. 7 ve 28 gün sonlarında kür havuzundan çıkarılan numunelere, basınç, su emme gibi çeşitli deneylere tabi tutularak hafif agregalarla üretilen ısı yalıtım amaçlı hafif betonun özellikleri incelenmiş ve normal betonun özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonun, enerji verimliliği açısından büyük bir gelişim ortaya kayarak klasik beton anlayışına yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Anahtar kelimeler: Hafifbeton, Pomza, Perlit, Isı yalıtımı, Ses yalıtımı

2012, 47 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

EXAMINING PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH PUMICE AND PERLITE

Mustafa ÖZTÜRK

Namık Kemal University
Institute of Science
Department of Civil Engineering

Advisor: Assistant Professor Doctor Ayşe KOPUZ

In this developing and globalising world, inspite of the increase in energy demand, because of limited sources, efficient use of energy became a main topic. Increasing energy demand caused an efficieny need in concrete technology too. In this respect conventional concrete is aimed to be equipped with sound and heat insulating features. In this study, using lightweight aggregate, unit mass of conventional concrete is decreased, pysical and mechanical features of it is surveyed and it is tried to be gained heat isolating feature. Light Concrete samples produced using varying rates of aggregates and eps, have been placed in (15X15X15) cm³ cubed shaped boxes. After 24 hours samples were taken out of the mold and placed in to the 23°C water to rest 7-28 days. At the end of the 7th and 28 th days, samples were taken out of the curing pool and they have been subjected to varying experiments as pressure and water absorbtion in order to observe the lineweight concrete's properties and results were compared to the normal concrete properties. As a result heat insulation purpose lineweight concrete produced by using light weight aggregate, presenting a huge advance, brought a new perspective to conventional concrete understanding.

Key words: Light weight concrete, Pumice, Pearlite, Heat insulation, Sound insulation

2012, 47 pages

ÖNSÖZ

İnsan hayatında önemli bir yer teşkil eden lisans eğitimimden sonra toplumda ekonomik özgürlüğümü ilan etmiş bir birey olarak hayatımı idame ettirmeye çalıştım. İş hayatına atıldığım bu süreçte kendimi ispat etme konusunda çeşitli sorunlarla karşılaştım ve birey olduğumun farkına varıp kendi kararlarımı korkusuzca kendim vererek yoluma devam ettim. Üzerime büyük sorumluluklar aldım ve elimden geldiğince aldığım sorumluluklar doğrultusunda hareket etmeye çalıştım. Gün geldi sırtımdaki sorumlulukları taşıyamadığım da oldu. İşte tam da bu anlarda yine arkamda ellerini uzatıp bana destek olan ve yaralarımı şefkatli elleriyle saran ailemi buldum. Amaçlarım doğrultusunda hareket edip kendi doğrularımın peşinden koştum ve koşmaya da devam edeceğim.

Aldığım eğitim doğrultusunda hareket ederken mesleğimde çözümlene ulaşamadığım sorunlarla karşılaştım. Demiryolundan baraja kadar uzanan çok geniş bir sektörü içerisine alan mesleğimizde aşamadığım sorunların üstesinden gelmek için genelden özele inerek uzmanlık alanlarının oluşturulması gerektiğinin farkına vardım.

Bu bağlamda başladığım yüksek lisans eğitimi süresince beni yönlendiren ve yardımını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ayşe KOPUZ' a ve çok değerli hocalarım Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER, Yrd. Doç. Dr. Güler GAYGUSUZOĞLU, Yrd. Doç. Dr. İ. Feda ARAL, Yrd. Doç. Dr. Zekeriya AYDIN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimine birlikte başladığım arkadaşlarım İnş. Müh. Ebru DERNEK, İnş. Müh. Zübeyir DENİZ ve birlikte çalıştığım iş arkadaşım İnş. Müh. Hakan KIZILATES' e verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam içerisinde bulunan deneyleri yapmam için laboratuvar ve teknik olanaklarını bana sunmaktan çekinmeyen Betonsa firmasına ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca mutluluğumla mutlu olan, su kadar berrak, gökyüzü kadar mavi ve güneş kadar sıcak duygular besleyen, mutluluğum için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan annem ve babam Güllü & Elbeyi ÖZTÜRK' e, benim için çok değerli olan kardeşlerim Burcu & Elif ÖZTÜRK' e ve hayatıma anlam kazandıran sevgilim Yasemin ÜREK' e bu yüksek lisans tezini en samimi ve temiz duygularıyla armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Beton.....	2
1.1.1. Normal Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	2
1.1.1.1. İşlenebilirlik.....	2
1.1.1.2. Dayanım	2
1.1.1.3. Dayanıklılık	3
1.1.2. Betonun sınıflandırılması	3
1.2. Hafif Beton.....	4
1.2.1. Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	4
1.2.1.1. İşlenebilirlik.....	4
1.2.1.2. Dayanım	4
1.3. Hafif Betonların Sınıflandırılması	5
2.KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1.Fiziksel ve Mekanik Özellikler.....	6
2.2.Yalıtım Etkisi	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM	8
3.1. Materyal	8
3.1.1. Kum	8
3.1.2 Pomza.....	9
3.1.3. Perlit.....	12
3.1.4. Çimento.....	13
3.1.5. Beton Karışım Suyu	14
3.1.6. Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı.....	15
3.1.7. Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı	16
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. Hafif Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Kalıplara Yerleştirilmesi.....	16
3.2.2. Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi.....	28
3.2.3. Su Emme Oranı Tayini.....	28
3.2.4. Beton Basınç Dayanımı Deneyi.....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	31
4.1.Hafif Betonun Değerlendirilmesi.....	31
4.1.1.Fiziksel Özellikleri.....	33

4.1.1.1. Birim ağırlık	33
4.1.1.2. Ses geçiş hızı	34
4.1.1.3. Su emme oranı	37
4.1.2. Mekanik Özellikleri	38
4.1.2.1. Basınç dayanımı	38
4.1.2.2. Basınç dayanımı ve ses geçiş hızı arasındaki ilişki	39
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	41
6. KAYNAKLAR	43
7. ÖZGEÇMİŞ	47

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı
ACI	Amerikan standardı
AFK	Etüv kurusu ağırlığı
AKYD	Kuru yüzey doymuş ağırlığı
C	Çimento
CEB	Avrupa standardı
d	Numunenin seçilen en kesit boyutu
Ed	Dinamik elastisite modülü
EPS	Expande polistren
F	En büyük yük
fc	Basınç dayanım
HB	Hafif beton
HS	Hava sürükleyici
KS	Karışım suyu
P	Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
PE	Perlit
PO	Pomza
SA	Süper akışkanlaştırıcı
t	Ses geçiş süresi
TSE	Türk Standardı
V	Ses hızı
ρ_b	Agregaların Gevşek Yığın Yoğunluğunun Tayini
ρ_{ssd}	Agregaların Y.K.S.D Tane Yoğunluğu Tayini
ρ_p	Agregaların Kuru Tane Yoğunluğu Tayini
v	Boşluk Hacminin Tayini
σ	Basınç dayanımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Doğal Kum	9
Şekil 3.2. Pomza Agregası	10
Şekil 3.3. Karışık Pomza.....	11
Şekil 3.4. Perlit.....	13
Şekil 3.5. Hava Kabarcıklarının Birbirini İtme Mekanizması (Hewlett 2004).	15
Şekil 3.6. Hava Sürükleyici Katkı Maddesi Etki Mekanizması(Hewlett 2004).....	16
Şekil 3.7. Karışım Suyu Eklenmeden Önceki Durum.....	18
Şekil 3.8. Karışım Suyu Eklenmeden Önceki Durum.....	18
Şekil 3.9. Karışım Suyu Eklendikten Sonraki Durum	19
Şekil 3.10. Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi	28
Şekil 3.11.Su Emme Oranı Tayini İçin 24 Saat Suda Bekletilen Numuneler.....	29
Şekil 3.12. Hafif Beton Basınç Dayanımı Deneyi	30
Şekil 4.1. Beton birim ağırlığının karışım oranı ile ilişkisi (Kg/m ³)	34
Şekil 4.2. Beton numunelerde ses geçiş hızının karışım yüzdesine göre değişimi (km/s).....	35
Şekil 4.3. Beton numunelerde ses geçiş hızının karışım yüzdesine göre değişimi (km/s).....	36
Şekil4.4. Betonun karışım yüzdesine göre su emme değerleri (%)	37
Şekil4.5. 7 Günlük numunenin aldığı dayanım oranı (%).....	39
Şekil4.6. Beton numunelerinde basınç dayanımı – ses geçiş hızı ilişkisi (N/mm ² – km/s)	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Deneide Kullanılan Yeniköy Agregasının Fiziksel Özellikleri	10
Çizelge 3.2. Deneide Kullanılan Pomzanın Fiziksel Özellikleri.....	12
Çizelge 3.3. Ham Perlitin Fiziksel Özellikleri DPT 2001, Çiçek 2002, TS 3681	12
Çizelge 3.4. Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri DPT 2001, Çiçek 2002, TS 3681	13
Çizelge3.5. CEM I 42.5R Çimentosunun Kimyasal Bileşenleri (%)	14
Çizelge 3.6. CEM I 42.5R Çimentosunun Fiziksel Özellikleri.....	14
Çizelge 3.7. Hafif Beton Karışım Oranları.....	17
Çizelge 3.8. 1352 Numaralı Beton Tasarım Formu	20
Çizelge 3.9. 1353 Numaralı Beton Tasarım Formu	21
Çizelge 3.10. 1354 Numaralı Beton Tasarım Formu	22
Çizelge 3.11. 1355 Numaralı Beton Tasarım Formu	23
Çizelge 3.12. 1610 Numaralı Beton Tasarım Formu	24
Çizelge 3.13. 1611 Numaralı Beton Tasarım Formu	25
Çizelge 3.14. 1612 Numaralı Beton Tasarım Formu	26
Çizelge 3.15. 1613 Numaralı Beton Tasarım Formu	27
Çizelge 4.1. Kullanılan kum ve pomzanın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı.....	31
Çizelge 4.2. Kullanılan kumun ve pomzanın nem oranı	31
Çizelge 4.3. Üretilen hafif betonların mekanik deney sonuçları.....	32
Çizelge 4.4. Üretilen hafif betonların mekanik deney sonuçları.....	32
Çizelge 4.5. Üretilen hafif betonların birim ağırlıkları	33

1. GİRİŞ

Yapı sektörü ve yapı teknolojileri arasında taşıyıcı eleman olarak en çok kullanılan malzeme betondur. Beton; bileşenleri olan çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda karışımlarından meydana gelmektedir. Kullanış amacına göre çok çeşitli tiplerde beton elde etmek mümkündür. Betonun 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. Betona bu farklı özellikleri kazandırmak elbette ki betonun geleneksel bileşenlerinin haricinde farklı nitelikteki yapı malzemelerini karışıma ilave etmekle olmaktadır (Beycioğlu 2008).

Özel beton çeşitlerinden bir tanesi de hafif betonlardır. Ağırlığı az, yalıtımı yüksek, dayanımı yeterli ve yanmaz bir madde olan hafif beton geleceğin mimarlığı açısından büyük önem taşıyan bir malzemedir. Normal betondan ayrıcalığı, hafifliği ve ısı yalıtımı sağlayan boşlukları bulunmasıdır. Boşluklar, boşluklu agrega kullanılarak (zeolit, bims veya pomza taşı, cüruf, perlit v.b) veya boşluklu iç yapı oluşturarak yada ince harç içinde gaz kabarcıkları oluşturmak yolu ile sağlanmaktadır (Topçu 2006).

Doğada ve Türkiye’ de kolaylıkla bulunabilen pomza, perlit gibi hafif agregalar, yüksek boşluk miktarı, düşük ağırlığı, homojen yapısı, genleşmeye uygun olması nedeniyle inşaat sektöründe daha fazla tercih edilmeye başlamışlardır.

Günümüzde bölgesel nüfus yoğunluklarının hızla artması ve mevcut kaynakların sınırlı olmasına nedeniyle, beton teknolojisinin temel amaçları dışında üretilen betonlara enerji tasarrufuna yönelik görevlerde yüklenmek istenmiştir. Bu nedenle beton üretiminde ısı yalıtımı ve buna bağlı olarak ısı yalıtım amaçlı hafif beton önem kazanmıştır.

Kimyasal ve fiziksel yapısı uygun olan hafif agregalar yapı malzemesi üretiminde; özellikle harç, hafif beton, hafif sıva vs yapımında kullanılır olmuştur. Böylece beton teknolojisi, temel amaçları dışında enerji verimliliği sağlaması açısından da önemli bir görev üstlenmiştir.

1.1 Beton

Günümüzde beton, birçok farklı yapıda en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Betonun ucuzluğu ve kolay üretilebilir olmasından dolayı, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, kent mobilyaları, vb. birçok yerde yaygın kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir (Topçu ve ark. 2006). Bileşenleri açısından önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan “iyi” betona bir takım kimyasal ve mineral katkıları ilâve edilerek istenen bazı özellikler kazandırılmakta, özellikler iyileştirilebilmektedir (Felekoğlu ve ark. 2004, Özşahin 2011).

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesinden oluşan, oranları belirli esaslara göre ayarlanmış bir karışımı, istenen karışım ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirme yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir (Kocataşkın 1991). Beton hangi amaç için üretilirse üretilsin muhakkak üç ana niteliğe sahip olmalıdır:

1. İşlenebilir olmalı,
2. Dayanımlı olmalı,
3. Dış etkilere karşı dayanıklı (durabilitesi yüksek) olmalıdır (Akman 1987).

Dayanım, betonun diğer tüm özelliklerini etkileyen bir etkidir. Dayanımı yüksek bir beton aynı zamanda geçirimsiz, durabilitesi yüksek ve minimum poroziteye sahiptir. Bu koşulları sağlayabilmek için betonu oluşturan malzemelerin birbirine bağlanarak dolu bir beton oluşturmaları gerekmektedir.

1.1.1. Normal Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Çimento, su, agrega ve yardımcı katkıların bir arada karılmasıyla elde edilen beton başlangıçta şekil verilebilir, sıvı bir kıvamdadır. Zamanla beton içerisinde gelişen hidrasyon olayı sonucu beton sertleşir ve katı bir hal alır.

1.1.1.1. İşlenebilirlik

Taze beton özellikleri arasında en önemli olanı işlenebilmedir. İşlenebilme; taze betonun, kullanılacağı amaca göre, yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilmesi amacıyla gereken akıcılıkta olduğunu gösteren bir değerdir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan beton, yerleştirme, sıkıştırma ve düzeltme işlemleri istenilen düzeyde olmadığında, yeterli dayanımı ve dayanıklılığı göstermez.

1.1.1.2. Dayanım

Beton kullanıldığı duruma göre, farklı yönlerde ve büyüklüklerde kuvvetlerin (yüklerin) etkisi altında kalmaktadır. Beton elemanlar, bu yükler etkisinde, çok küçük miktarlarda şekil değiştirerek, yüklerin etkilerine karşı koyacak şekilde tasarlanırlar. Beton

dayanımı, betonun üzerine gelen yüklerin etkisi ile meydana gelecek şekil değiştirme ve kırılmalara karşı direnç gösterme kabiliyetidir. Beton dayanımının yüksek olması, çimento hamurunun dayanımına, agrega dayanımına ve çimento hamuru ile agrega arasında meydana gelen aderansa bağlıdır.

1.1.1.3. Dayanıklılık

Betonun geçirimliliği betonda kullanılan agrega özellikleri, beton içerisindeki boşluk oranı ve boşluk yapısıyla yakından ilgilidir. Betonun su emmesi, kurutma sonrasında boşalan ve suya batırma sonucunda suyla dolabilen boşluklarda gerçekleşmektedir (Hızal 2010).

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.

Soğuk iklim koşullarında betonun kalıcılığını tehdit eden en önemli etkenlerden birisi de donma- çözülme olayıdır. Sertleşmiş ve suya doygun haldeki bir beton don etkisinde kalınca, çimento harcının içindeki kılcal boşluklardaki su donar ve genişler. Gerilmeler, betonun çekme dayanımı aştığındaki çatlama ve ufalanma şeklinde hasarlar ortaya çıkar (Baradan ve ark. 2002).

1.1.2 Betonun Sınıflandırılması

Betonlar yoğunluklarına, basınç dayanımlarına ve üretim yerlerine göre gruplara ayrılmaktadırlar.

Üretildikleri yerlere göre Betonlar:

- Şantiye betonu
- Beton santralı olmak üzere iki temel grup altında incelenmektedir.

Basınç dayanımlarına göre betonlar:

- Hafif betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm^2 'nin altında olan betonlar.
- Normal betonlar: Basınç dayanımları $20-40 \text{ N/mm}^2$ olan betonlar.
- Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm^2 'den fazla olan betonlardır (Eren 2009).

Birim ağırlıklarına göre betonlar:

- Normal Betonlar: Yaklaşık 2400 kg/m^3 birim ağırlığında olan betonlardır ve taşıyıcı amaçlarla en çok kullanılan beton türüdür.
- Hafif betonlar: Birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'den az olan betonlardır. Yalıtım amaçlı olarak veya dayanım ağırlık oranının yüksek olması gereken koşullarda kullanılırlar.

Beton iyi bir taşıyıcı olmasına karşın birim ağırlığı büyük, ısı iletkenliği yüksektir. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılıp yapı hafifletilebilmekte, böylece taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri küçültülerek ekonomi sağlanabilmektedir (Azizi 2007). Diğer yandan yurdumuzun büyük çoğunluğunun 1. derece deprem riski taşıyan bölgelerde bulunması göz önüne alındığında, yapıların öz ağırlıklarının hafifletilebilmesi yapıya etkiyen deprem yükünü azaltacak ve dolayısı ile olası depremlerdeki yapı hasarları da azaltılmış olacaktır (Konuk 2003).

1.2 Hafif Beton

Hafif beton teknik, ekonomik ve çevresel avantajları sayesinde yapılar için çok yönlü kullanılan bir materyal olmuş ve son zamanlarda yapılarda daha fazla kullanılmaya başlamıştır (Haque ve ark. 2004). Hafif betonun yapı malzemesi olarak kullanımı ile yapı yükünün azaltılması dolayısıyla malzeme yönünden ekonomi ve düşük birim ağırlığı sayesinde de yüksek ısı ve ses yalıtımı gibi yararlar sağlanmıştır (Bomhard 1980, Şişman ve ark. 2008).

Doğal veya yapay agregalardan üretilen hafif betonlar dayanım ve birim ağırlık bakımından üç sınıfa ayrılmaktadır. Düşük dayanım (küp örneklerin) ve düşük birim ağırlığa ($7-20 \text{ kgf/cm}^2$, $250-750 \text{ kg/m}^3$) sahip birinci kategorideki hafif betonlar yalıtım malzemesi olarak, orta dayanıma $20-142 \text{ kgf/cm}^2$ ve $1000-1400 \text{ kg/m}^3$ sahip ikinci kategorideki betonlar blok duvar yapımında ve dayanımı yüksek ($173-418 \text{ kgf/cm}^2$ ve $1500-2000 \text{ kg/m}^3$) üçüncü kategorideki yapısal betonlar ise taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılmaktadır (Sarı ve Paşamehmetoğlu 2005, Şişman ve ark 2008).

1.2.1 Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

1.2.1.1 İşlenebilirlik

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilir. Hafif betonun kıvam betonun kullanımına, yerleştirilmesine, sıkıştırılmasına, iletim imkanlarına (pompa, kova vs.) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hafif betonda tercih edilen beton kıvamı koyu veya orta olmalıdır. Çünkü akıcı kıvamdaki taze betonun taneleri hafif olmaları nedeniyle seçilmeye uğramaktadır.

1.2.1.2 Dayanım

Genel olarak hafif agregalı betonlardaki dayanım artışı, betonda kullanılan agreganın birim hacim ağırlığıyla ilişkilidir. Diğer bir ifadeyle, agreganın yoğunluğu arttıkça hafif betonun dayanımı da arttırılabilir (Uygunoğlu 2008).

Hafif betonda kullanılan hafif agregaların dayanımları bağlayıcının dayanımından daha düşük olduğundan, yüksek dayanımda bağlayıcı kullanılarak hafif betonun dayanımı artırılabilir.

Normal agregalı betonlarda ise durum farklıdır. Normal agregaların dayanımı bağlayıcının dayanımından çok daha yüksektir. Dolayısıyla beton üzerine gelen yük bağlayıcı tarafından aktarılmakta ve yük agregalar tarafından taşınmaktadır. Dolayısıyla normal agregalı betonlarda basınç yükü altındaki bir beton numunede oluşan gerilmeler, köşelerden numunenin orta kısmına doğru olmaktadır.

1.3 Hafif Betonların Sınıflandırılması

Birim ağırlıkları normal betonlardan belirgin şekilde düşük olan betonlara hafif beton denilmektedir. Genel olarak birim ağırlığı 1800 kg/m^3 'ten küçük olan betonlar hafif beton sınıfına girerler. Hafif betonlar birim ağırlıklarına, mukavemetlerine ve kullanım amacına göre gruplandırılabilirler (Sancak 2005).

Hafif betonlar birim ağırlıkları ve basınç dayanımlarına göre şu şekilde sıralanırlar.

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

Normal ve hafif betonlar ile yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde agrega beton hacminin yaklaşık % 45-70 arasındaki bir kısmını kapsadığı gözükmektedir (Gökçe 2010). Buda agreganın beton içerisinde ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Şimşek(1987) Madenşehir (Konya – Karaman) doğusundaki pomzataşının hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması adlı yüksek lisans tezinde pomzanın fiziksel özellikleri bakımından hafif beton ve detay yapı elamanına uygun olduğundan basedilmiştir.

Taze beton özellikleri arasında en önemli olanı işlenebilmedir. İşlenebilme; taze betonun kullanılacağı amaca göre, yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilmesi amacıyla gereken akıcılıkta olduğunu gösteren bir değerdir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan beton yerleştirme, sıkıştırma ve düzeltme işlemleri istenilen düzeyde olmadığında, yeterli dayanımı ve dayanıklılığı göstermez. İşlenebilirliği yüksek olan beton en az enerjile karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir.

İşlenebilme özelliği, betonun yapısından kaynaklanan şu özellikler ile ilgilidir:

- Taze beton kütesinde akma başlatacak kuvvete karşı betonun göstereceği direnç (kayma dayanımı),
- Akma başladıktan sonraki hareketlilik (akıcılık),
- Betonun oluşturan malzemelerin birbirine ne ölçüde bağlanmış olduğu, böylece segregasyona karşı göstereceği direnç
- Yerleştirilmeyi ve yüzeyinin düzeltilmesini etkileyen yapışkanlıktır (Kılınç 2007).

Taze betonun işlenebilirliğini etkileyen etkenler, karışımdaki su miktarı, hava miktarı, karışım oranları, agrega özellikleri, agrega tane dağılımı, çimento özellikleri, katkıları, zaman ve sıcaklık sayılabilir.

Doğan (1997) Cumaovası perlitinin bazı fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi adlı yüksek lisans tezinde perlitin hızlı ve kontrollü bir şekilde ısıtıldığında genişleyen camı, volkanik bir kayalık olduğunu, Türkiye' nin dünya perlit rezervinin yaklaşık %70 ini kapsadığı ve çok sayıda kullanım alanı olduğunu belirtmiştir.

Betonun dayanıklılığı açısından beton geçirimsizliği ve betonun boşluk yapısı da oldukça önemlidir. Çünkü betonu etkileyen dış etkenler beton içerisine, kılcal boşluklar ile nüfuz etmektedir. Aynı zamanda betonda boşluklar, betonun dayanımını da olumsuz etkilemektedir. Betonun geçirimsizliği ne kadar az olursa, bahsedilen dış etkenler beton içerisine nüfuz edemeyeceği için betonun bozulması engellenmiş olacak, dayanımı korunabilecektir (Saran 2007).

Azizi (2007) Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı adlı tezinde geliştirilmiş perlit agregasıyla üretilen hafif betonların taze beton birim ağırlıklarını 700 kg/m^3 'den 2000 kg/m^3 'e kadar değiştirilebileceğinin mümkün olabileceğini, geliştirilmiş perlit agregasının yuvarlak ve düzgün yapısı sayesinde taze betonun işlenebilirliğini artırdığını belirtmiştir.

Akçakale (2010) Bazaltik pomza ve bims agregalı hafif betonun bazı dayanıklılık karakteristiklerinin araştırılması adlı tezinde ürettiği numuneler arasında dayanım değerleri deprem bölgelerinde yapılacak olan binalarda hakkındaki yönetmelikte belirtilen C20 sınıfı beton değerinin altındakalmasından dolayı taşıyıcı elemanların betonu için kullanılamayacağını, ancak duvar yapı elemanı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

2.2. Yalıtım Etkisi

Hüsem (1995) Doğu Karadeniz bölgesi doğal hafif agregalardan biriyle yapılan hafif betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi adlı tezinde su/çimento oranına bağlı olarak bir miktar değişmekle beraber hafif betonların ısı iletkenlik katsayıları geleneksel betonlara göre daima % 80 daha küçük olduğunu belirtmiştir.

Can ve Avcı (1995), tarafından yapılan çalışmada pomza tanelerinin gerek bol miktarda gözenekliliği, gerekse her bir gözeneğin birbirinden bağlantısız boşluklu camsı bir zarla çevrilerek yalıtılmış olması sayesinde ısı iletkenlik değerinin diğer pek çok yapı malzemesine kıyasla düşük çıkmasına neden olduğu ileri sürülmüştür. Diğer taraftan, pomzanın birçok yapı malzemesine göre düşük özgül ağırlıkta olması, yapı statik açısından da ayrıca bir avantaj kazandırmaktadır. Pomza serbest taneler halinde, ısı yalıtımı amaçlı olarak da binalarda kullanılmaktadır. Yapılarda iç hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak yapı kesitini oluşturan (duvarda, tabanda ve tavanda) elemanların iç yüzey sıcaklıklarının belli değerlerde olması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar; iç ortam sıcaklığının $18-22 \text{ }^\circ\text{C}$, yapı elemanı sıcaklığının ise $16-18 \text{ }^\circ\text{C}$ olması ile, arzu edilen konfor şartlarının sağlandığını göstermiştir. Ayrıca yaz ve kış iklim şartlarında her iki sıcaklık derecesinin 4°C lık bir farkla kabul edilmesi yeterli görülmektedir.

Ulus (1997) Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması adlı tezinde mevcut betona alternatif olarak, hafif ekonomik ve ısı iletimi daha düşük beton üretebilmeyi hedeflemiştir. Bu amaçla, Erzincan Mollaköy' de perlit agregalı hafif betonun taşıyıcı yapı elemanı üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Elde edilen betonların izolasyon kabiliyetini ve puzolanik özelliği de araştırmıştır. Ayrıca, beton basınç mukavemetinin, dozajının artması ile arttığı ve çökmenin artması ile azaldığı

görülmüştür. Ayrıca normal betonlara göre birim ağırlıkta %23 ile %29, ısı iletiminde %69 civarında bir azalma elde edilmiştir.

Demirboğa (1999) Silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif betonların özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi adlı tezinde hafif betonların su emmeleri yüksek olduğundan, su ile temas edecek zeminlerde ciddi bir tecritle kullanılmasının gerektiği, aksi takdirde bu malzemenin en önemli özelliği olan ısı yalıtımından istifade edilemeyeceğini, çünkü malzemenin % 1 oranında su emmesi ısı iletkenliğini % 5 oranında artıracığı belirtmiştir.

Demirboğa ve Gül (2002), genişmiş perlit ve pomzaagregalı beton karışımlarının ısı geçirgenlik özelliklerini araştırmışlardır. Hafif agregalı betonun ısı geçirgenlik katsayısına silis dumanın ve C sınıfı uçucu külün etkileri deneysel yöntemler uygulanarak belirlenmiştir. Silis dumanı ve uçucu kül malzemeleri çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranında kullanılmıştır. En yüksek 0,3178 W/mK ısı geçirgenlik değeri pomzaagregası ve normal çimento içeren karışımlarda elde edilmiştir. ısı geçirgenlik katsayısı silis dumanı ve uçucu külün çimento yerine ikame edilmesi durumunda; bu malzemelerin oranlarının artması ile azalmıştır. En düşük ısı geçirgenlik katsayısı 0,1472 W/mK ile genişmiş perlit agregasının pomza taşının %70' i ve çimentonun %30 yerine de uçucu kül kullanılmasıyla üretilen numunede elde edilmiştir. Silis dumanı ve uçucu kül gibi malzemelerin her ikisi de ısı geçirgenliğinde azalma sağlamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, hafif agrega ve polimer esaslı malzemeler kullanılarak üretilen ısı yalıtım amaçlı hafif betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, hafif beton üretiminde çeşitli oranlarda pomza, perlit, EPS kullanılmış ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

3.1. Materyal

Bu çalışmada Nevşehir' den temin edilen pomza (PO), çimento (C), hava sürükleyici kimyasal katkı (HS), süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı (SA), perlit (PE), kum (K), ekspande polistren (EPS), içilebilir derecede karışım suyu (KS) kullanılarak ısı yalıtım amaçlı hafif beton üretilmiş ve üretim esnasında kullanılan materyallerin çeşitli özellikleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

3.1.1 Kum

Bu çalışmada hafif beton üretiminde kullanılan kum, Sarıyer Yeniköy' den temin edilen, TS 706 EN 12620' a göre maksimum dane çapı 4 mm olan dere kumu şekil 3.1' de görülmektedir. Yeniköy' den temin edilen kumun doygun kuru yüzey özgül ağırlığı TS EN 1097-6' ya uyularak tespit edilmiş ve çizelge 3.1.' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Doğal Kum

Çizelge 3.1. Deneyde Kullanılan Yeniköy Agregasının Fiziksel Özellikleri

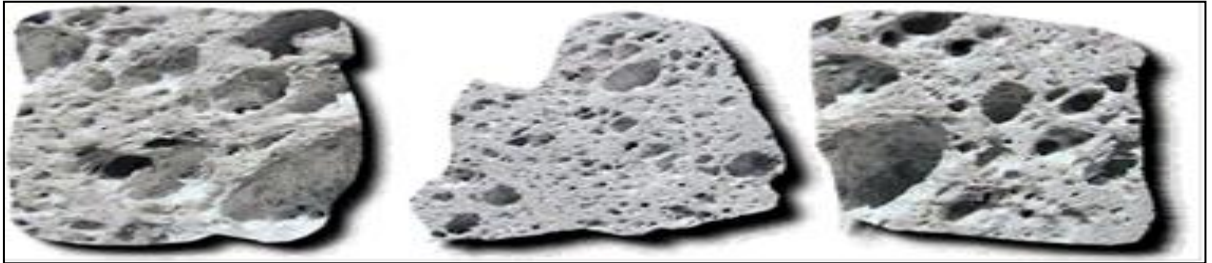
Agrega Türü	D.K.Y. Özgül Ağırlık	Renk
Kum	2.6	Gri

3.1.2. Pomza

Pomza, gözenekli yapısı, yüksek yalıtım etkileri, atmosferik şartlara olağanüstü direnci nedeniyle insanoğlunun kullandığı en eski yapı malzemelerinden biridir. Antik Yunan ve Roma dönemlerinde pomza, amfityatrolar, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut inşaatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapılar zamana karşı hala direnmektedir. Pomza farklı endüstri dallarında yaygın kullanım alanları bulmaktadır. Bu endüstri dalları inşaat, tekstil, kimya, ziraat, kişisel bakım, kozmetik, sağlık ve diğer endüstri dallarıdır.

Pomza, düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses yalıtımı, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı inşaat ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Pomza, İtalyanca ponz, Almanca Bimsstein, İngilizce Pumice olarak adlandırılır. Dilimizde süngertaşı, kisir, köpüktaşı, topuktaşı olarak da adlandırıldığı gibi bilimsel terminolojide dünyaca kabul görmüş pümis (pumice), pümisit (pumicite) olarak da adlandırılabilir (İri - çakıl boyutuna pümis, kum ve altındaki tane boyutlarına pümisit denilir). Dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür.



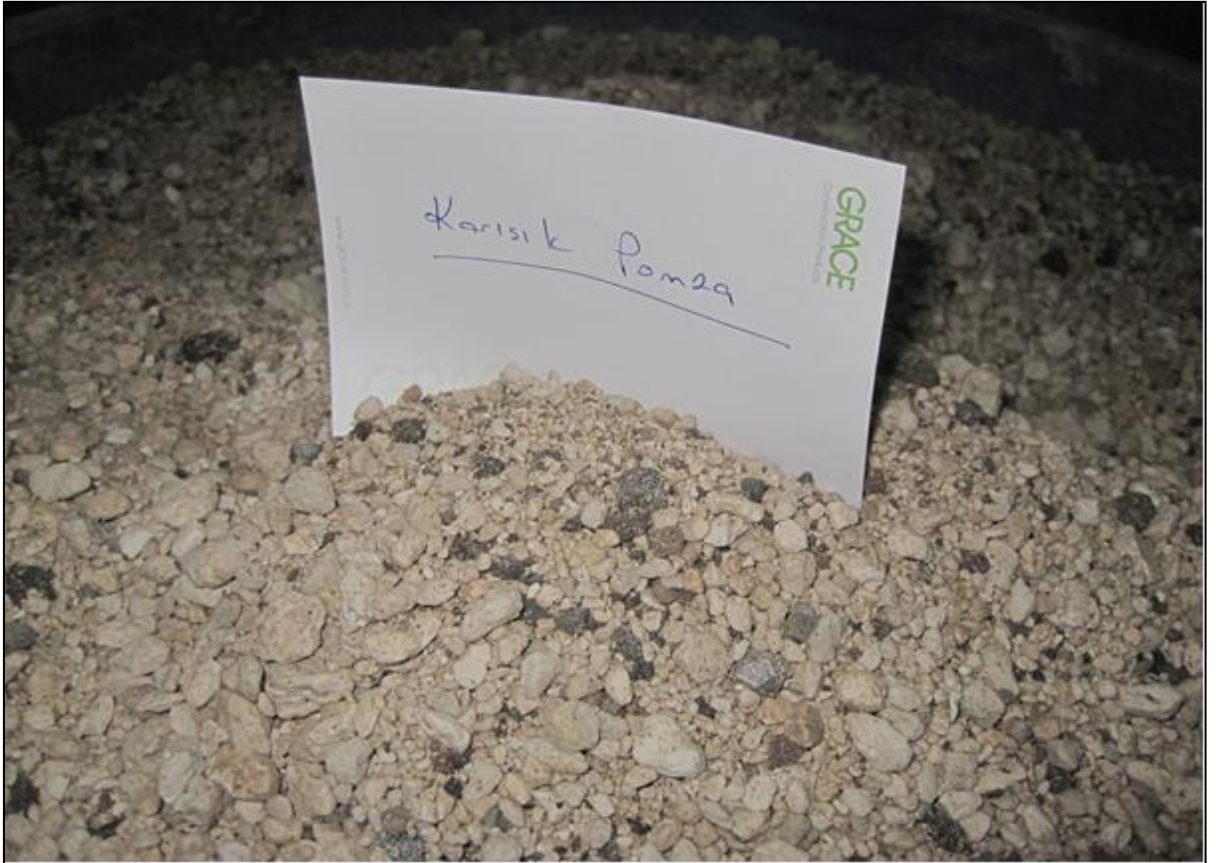
Şekil 3. 2. Pomza Agregası

Pomza püskürük piroklastik bir kayadır. Çok poroz volkanik cam olarak da adlandırılabilir. Patlayıcı (jeolojik olarak Tersiyer yaşlı) volkanizma faaliyetleri esnasında,

yüksek sıcaklık ve basınç altında eriyik haldeki mağma, şiddetli olarak yeryüzünden atmosferin üst katmanlarına doğru püskürür. Likit haldeki kızgın eriyikler atmosferin üst katmanlarında ani olarak soğuk ortamla karşılaşır. Bu soğuma neticesinde piroklastik kayaç bünyesindeki su buharı ve fümeroller akabinde bünyeden uzaklaşarak, kristallenmeye fırsat bulamayan çok poroz bir kayaç oluşur.

Bu poroz kayaç havadan akma mekanizması ile aktif volkan krateri ve civarında mevcut topografya üzerine yayılır. Aktivasyonu yavaşlayan volkanizma faaliyeti sonrası püsküren tuf ve sonrası meydana gelebilecek alüvyonal formasyonlar pomza katmanlarının üzerini muhtelif kalınlıklarda örtebilir. Yoğun erozyon etkilerinden korunmuş pomza katmanları, günümüzde ekonomik öneme sahip yatakları oluşturmuşlardır.

Nevşehir’ den temin edilen pomza agregası Şekil 3.3.’ de görülmekte olup Akçansa Bilimsel Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında TS EN 1097-6’ ya uygun olarak doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı tespit edildi. Yapılan çalışmada Nevşehirden temin edilen pomzanın fiziksel özellikleri çizelge 3.2.’ de verilmiştir.



Şekil 3. 3. Karışık Pomza

Çizelge 3.2. Deneyde Kullanılan Pomzanın Fiziksel Özellikleri

Pomza Türü	D.K.Y. Özgül Ağırlık	Renk
Nevşehir Pomzası	1.3	Açık Gri

3.1.3. Perlit

Perlit asidik bir volkanik camdır. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen perle kelimesinden türetilmiştir. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit için hem de genişletilmiş perlit için kullanılmaktadır.

Çeşitli perlit kayaçlarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit göze tanımak oldukça zordur. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genişletildiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik %2 ile %6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır.

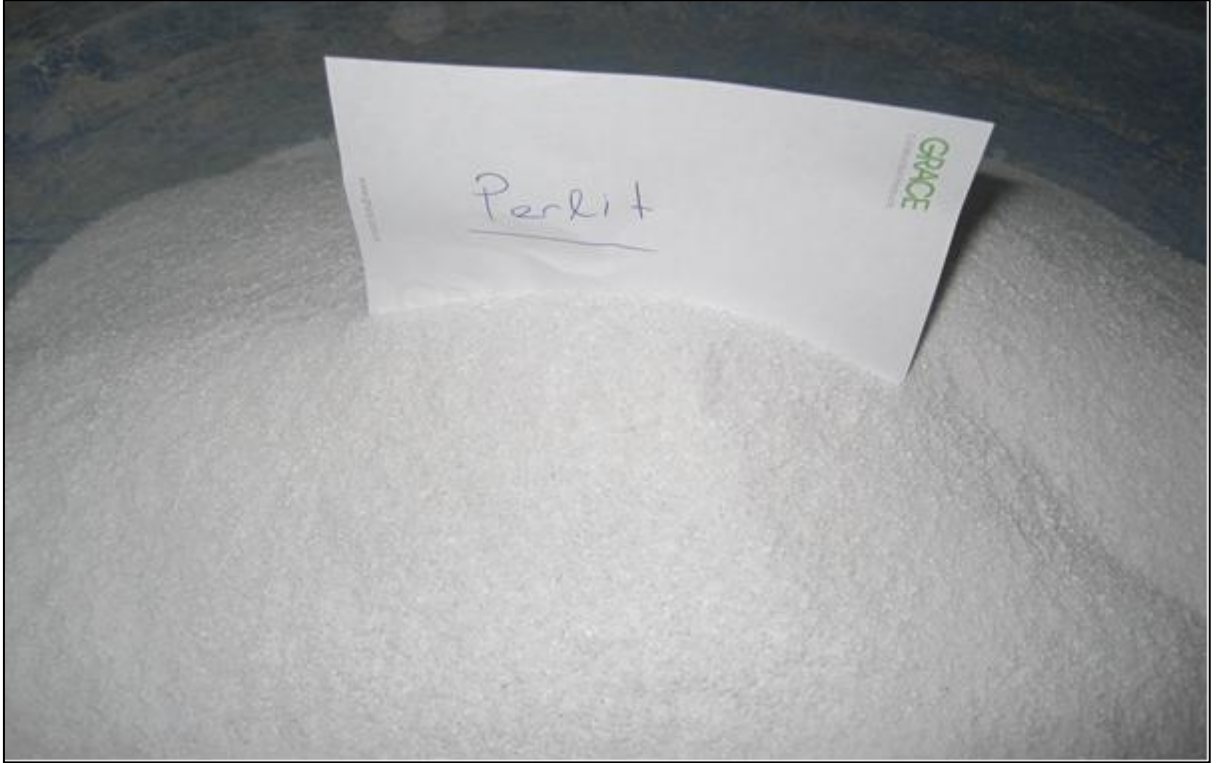
Ham perlit, öğütme ve boyutlandırma işlemlerinin uygulanmasından sonra 400 C°'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Ön ısıtmanın ardından ham perlit 750-1200 C° arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genişterek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşmektedir. Ham perlit, ilk hacminin 20 katına kadar genişlebilmektedir. Ham perlit ile genişletilmiş perlit birbirlerinden farklı fiziksel özellikler göstermektedir. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4.'de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Ham Perlitin Fiziksel Özellikleri (DPT 2001, Çiçek 2002, TS 3681)

Renk	Siyah ve grinin tonları
Özgül ağırlık(kg/m ³)	2200-2400
Yumuşama noktası (C°)	871-1093
Erime noktası (C°)	1260-1343
Özgül ısı (C°)	0,20-0,23
Sertlik (Mohs)	5-6

Çizelge 3.4. Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri (DPT 2001, Çiçek 2002, TS 3681)

Renk	Beyaz
Özgül ağırlık (kg/m ³)	55-300
Erime noktası (C°)	1300
Isıl iletkenliği (W/m ² K)	0,004
Isıl genişleme (W/mK)	4*10 ⁻⁶ -11*10 ⁻⁶
Ateşe karşı dayanım (m/m K)	Yanmaz
Ses yutma (dB)	0,60



Şekil 3.4.Perlit

3.1.4.Çimento

Betonun özellikleri, yapımında kullanılan malzemelerin miktar ve kalitesine bağlıdır. Çimento, betonun en aktif ve birim fiyatı en pahalı bileşeni olduğundan, özel bir beton karışımında istenen özellikleri ekonomik olarak elde edebilmek için seçimi ve uygun kullanımı önemlidir. Çalışmada çimento olarak AKÇ CEM I 42.5R kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal bileşenleri Çizelge 3.5’ de, fiziksel Özellikleri Çizelge 3.6’ de verilmiştir.

Çizelge 3.5. CEM I 42.5R Çimentosunun Kimyasal Bileşenleri (%)

Oksitler	CEM I 42.5R
SiO ₂	20,96
Al ₂ O ₃	3,82
Fe ₂ O ₃	3,71
CaO	63,37
MgO	3,67
SO ₃	2,91
Kızdırma Kaybı	0,8
K ₂ O + Na ₂ O	0,4
Cozunmeyen Kalıntı	0,36
Serbest CaO	0,89

Çizelge 3.6. CEM I 42.5R Çimentosunun Fiziksel Özellikleri

Piriz Süresi (Dakika)		Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	
Başlama	Bitiş	3.06	3490	2 Gün	28 Gün
162	195			28	60

3.1.5Beton Karışım Suyu

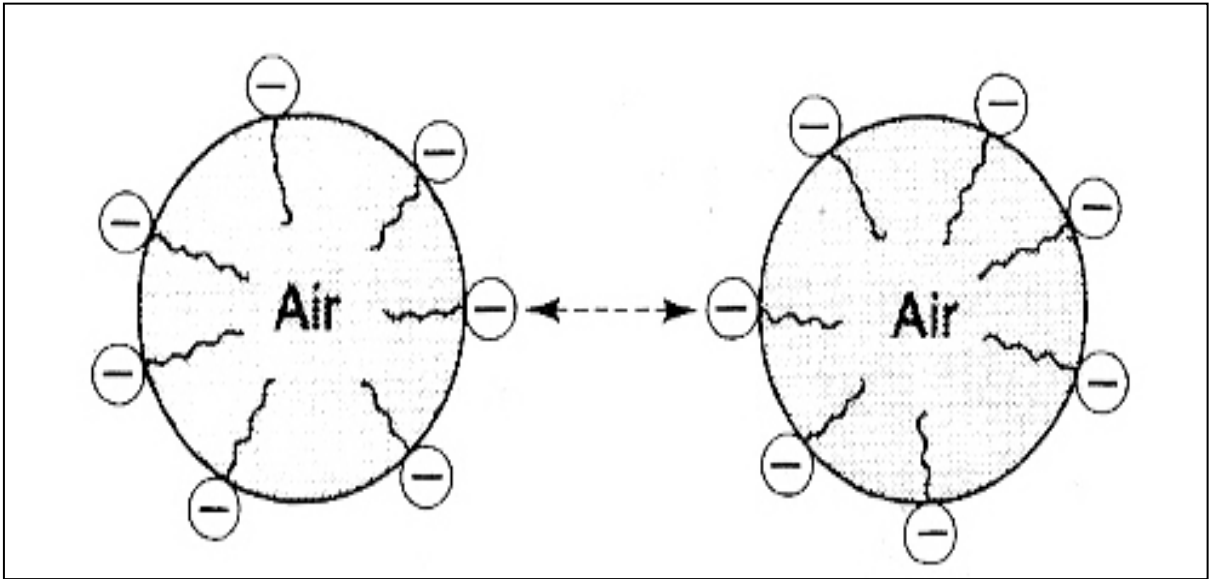
Betonda kullanılan suyun iki işlevi vardır. Birincisi; hidratasyon adı verilen kimyasal reaksiyonu başlatıp sürdürmek, ikincisi ise; işlenebilirliği sağlamaktır. Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir. Beton karma suyu asit ve bazik niteliğinde olmamalıdır.

Beton karışım sularının genel olarak “içilebilir” nitelikte olması aranır. Ancak, içme suyu standartlarına uygun olmayan bazı suları da kullanarak iyi beton üretmek mümkündür. Uygun olmayan bir suyun karışımında kullanılması beton kalitesini olumsuz etkileyebilir. Normal betonlarda kullanılan çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarım yaklaşık çimento ağırlığının % 25 ’ i civarındadır. Ancak akışkanlaştırıcı katılmadan işlenebilme için %35 - %40 dolayında su gerekmektedir.

3.1.6.Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı

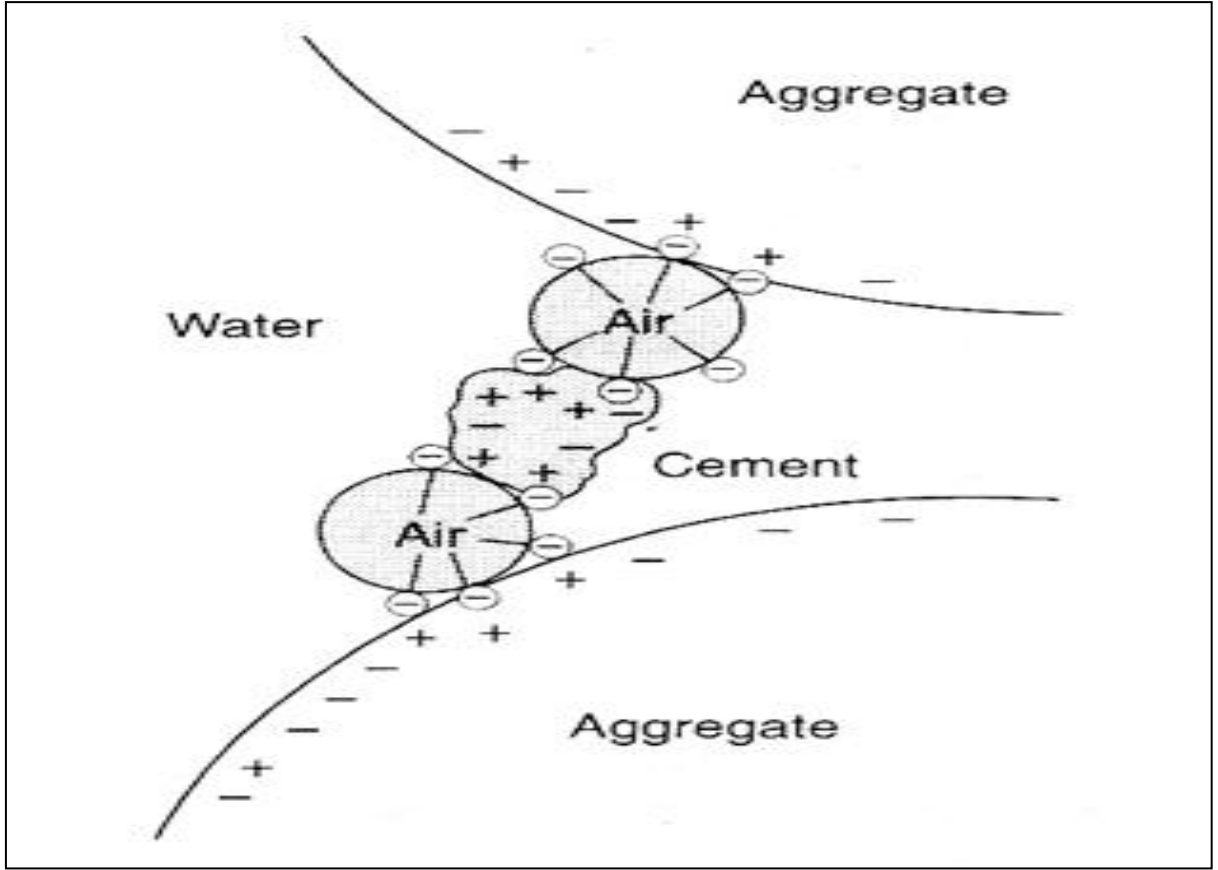
Hava sürükleyici katkıları, karışımda ve sertleşen betonun içinde kalan hava kabarcıklarının düzgün dağılmasını kontrol etmektedir (Hewlett 2004). Hava sürükleme, karışım içindeki havanın yüzde miktarı olarak tanımlanmaktadır (Newman ve Choo2003).

Hava sürükleyiciler suyun yüzey gerilimini değiştiren yüzey aktif maddelerdir. Çimento pastasının içindeki hava-su arayüzeyinde etki eden yüzey aktif maddeler, karıştırma süresince hava kabarcıklarını çok küçük ve ayırık kabarcıklar şeklinde hapsederler. Sahip oldukları yüklü hidrofilik baş kısım suya tutunurken, hidrofobik kuyruk kısmı hava kabarcıklarını yakalamaktadır. Bu durumda, hava kabarcığının içine kuyrukları ile nüfuz eden yüzey aktif maddelerin yüklü olan kısmı kabarcığın dışında kalmaktadır. Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi, her bir kabarcığın dış yüzeyinde kalan aynı yüklü yapılardan dolayı, aynı yüklerin birbirini itmesi prensibi komşu kabarcıkların birleşerek daha büyük hale gelmesi engellenmektedir (Hewlett 2004).



Şekil 3.5. Hava Kabarcıklarının Birbirini İtme Mekanizması (Hewlett 2004).

Kullanılan bu katkıları çimento ve agregaya negatif yüklü kısımlarla absorbe olup, agrega-hava-çimento-hava-agrega tipinde bir köprü meydana getirmektedir. Şekil 3.6.' de görülen bu köprü, karışımın kohezyonunu artırırken hava boşluk sistemini kararlı hale getirmektedir. Kurulan bu köprü sayesinde, hava kabarcıkları sıkıştırılabilir yatak gibi davranacak ve sistemin sahip olacağı serbest hareket olanağı artacaktır (Hewlett 2004).



Şekil 3.6. Hava Sürükleyici Katkı Maddesi Etki Mekanizması (Hewlett 2004).

3.1.7. Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı

Sikament[®] NP, betonun karma suyunu yüksek oranda azaltarak erken ve son dayanımlarını artıran veya aynı miktarda su ile betona yüksek oranda akışkanlık kazandıran süper akışkanlaştırıcı beton katkıdır. Çalışmada hafif betonun işlenebilir olmasını sağlamanın yanında dayanımının da artırılması amaçlanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Hafif Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Kalıplara Yerleştirilmesi

Numunelerin karışım oranları TS 802 esas alınarak belirlenmiştir. Hafif beton karışımında pomza (PO), çimento (C), kum (K), dayanım artırıcı kimyasal katkı (DA), perlit (PE), ekspande polistren (EPS) ve hava sürükleyici kimyasal katkı (HS) materyalleri belirli oranlarda kullanılmıştır. Hafif beton karışım oranları ve birim hacim ağırlıkları çizelge 2.7.' de ve her bir karışım oranı için hazırlanan beton tasarım formları aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Hafif Beton Karışım Oranları

Numune No	Pomza (%)	Kum (%)	Perlit (%)	Eps (%)	Çimento (Kg)	Katkı (%)	Su (Kg)	Birim Hacim Ağırlık
1352	90	10	0	0	300	1.05	158	1534
1353	90	10	0	0	300	1.40	156	1483
1354	90	0	10	0	300	1.30	183	1379
1355	70	0	30	0	300	1.20	217	1349
1610	85	15	0	0	300	1.20	177	1562
1611	85	0	15	0	300	1.05	220	1401
1612	0	15	0	85	300	1.20	111	979
1613	85	0	15	0	300	1.05	220	1401

Çizelge 3.7.' de gösterilen miktarlardaki malzemeler karıştırılarak 15x15x15 cm boyutlu kalıplara yerleştirilmiştir. Hafif beton karışım bileşenlerinin karışım suyu eklenmeden önceki hali Şekil 3.7-3.8' de, karışım suyu eklendikten sonraki hali ise Şekil 3.9' da verilmiştir.



Şekil 3.7. Karışım Suyu Eklenmeden Önceki Durum



Şekil 3.8. Karışım Suyu Eklenmeden Önceki Durum



Şekil 3.9. Karışım Suyu Eklendikten Sonraki Durum

Çizelge 3.8. 1352 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi				
Elekler (mm)	Agregalar			Karışım
	Kum	Pomza		
31.5	100	100		100
16	100	100		100
8	100	100		100
4	100	96.3		97
2	99.8	69.3		72
1	99.7	44.4		50
0.5	96.1	28.2		35
0.25	31.4	17.6		19
Karışım Oranı	10	90		100

Beton Karışım Raporu				
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)
Çimento		95.24	3.15	300.00
Su		120.00	1.00	120.00
Hava		5.00		
Kimyasal Katkı	40	2.61	1.15	3.00
Hava Sürükleyici		0.13	1.15	0.15
Kum		77.70	2.60	202.03
Pomza		699.32	1.30	909.11

Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Kum	3.20	1.00	2.20	4.54	
Pomza	25.00	30.00	-5.00	-43.30	-38.75

Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu			
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)		Ağırlık (kg)
Çimento			300.00
Su			158.75
Hava			
Kimyasal Katkı	40		3.00
Hava Sürükleyici			0.60
Kum			206.57
Pomza			865.82
Toplam			1534.74

Çizelge 3.9. 1353 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi			
Elekler (mm)	Agregalar		Karışım
	Kum	Pomza	
31.5	100	100	100
16	100	100	100
8	100	100	100
4	100	96.3	97
2	99.8	69.3	72
1	99.7	44.4	50
0.5	96.1	28.2	35
0.25	31.4	17.6	19
Karışım Oranı	10	90	100

Beton Karışım Raporu				
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)
Çimento		95.24	3.15	300.00
Su		120.00	1.00	120.00
Hava		40.00		
Kimyasal Katkı	40	2.61	1.15	3.00
Hava Sürükleyici		1.04	1.15	1.20
Kum		74.11	2.60	192.69
Pomza		667.00	1.30	867.10

Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Kum	3.20	1.00	2.20	4.33	-36.96
Pomza	25.00	30.00	-5.00	-41.30	

Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu		
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Ağırlık (kg)
Çimento		300.00
Su		156.96
Hava		
Kimyasal Katkı	40	3.00
Hava Sürükleyici		0.60
Kum		197.02
Pomza		825.80
Toplam		1483.38

Çizelge 3.10. 1354 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi			
Elekler (mm)	Agregalar		Karışım
	Perlit	Pomza	
31.5		100	90
16		100	90
8		100	90
4		96.3	87
2		69.3	62
1		44.4	40
0.5		28.2	25
0.25		17.6	16
Karışım Oranı	10	90	100

Beton Karışım Raporu					
Malzeme	Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)
Çimento			95.24	3.15	300.00
Su			120.00	1.00	120.00
Hava			30.00		
Kimyasal Katkı		40	2.61	1.15	3.00
Hava Sürükleyici			0.78	1.15	0.90
Perlit			75.14	1.02	76.64
Pomza			676.23	1.30	879.10

Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Perlit	1.20	37.00	-35.80	-21.13	-63.00
Pomza	25.00	30.00	-5.00	-41.87	

Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu		
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Ağırlık (kg)
Çimento		300.00
Su		183.00
Hava		
Kimyasal Katkı	40	3.00
Hava Sürükleyici		0.60
Perlit		55.51
Pomza		837.23
Toplam		1379.34

Çizelge 3.11. 1355 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi			
Elekler (mm)	Agregalar		Karışım
	Perlit	Pomza	
31.5		100	90
16		100	90
8		100	90
4		96.3	87
2		69.3	62
1		44.4	40
0.5		28.2	25
0.25		17.6	16
Karışım Oranı	30	70	100

Beton Karışım Raporu				
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)
Çimento		95.24	3.15	300.00
Su		120.00	1.00	120.00
Hava		20.00		
Kimyasal Katkı	40	2.61	1.15	3.00
Hava Sürükleyici		0.52	1.15	0.60
Perlit		76.16	1.02	233.06
Pomza		685.47	1.30	693.08

Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Perlit	1.20	37.00	35.80	-64.26	-97.27
Pomza	25.00	30.00	-5.00	-42.44	

Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu		
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Ağırlık (kg)
Çimento		300.00
Su		217.27
Hava		
Kimyasal Katkı	40	3.00
Hava Sürükleyici		0.60
Perlit		168.80
Pomza		660.07
Toplam		1349.74

Çizelge 3.12. 1610 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi			
Elekler (mm)	Agregalar		Karışım
	Kum	Pomza	
31.5	100	100	100
16	100	100	100
8	100	100	100
4	100	96.3	97
2	99.8	69.3	74
1	99.7	44.4	53
0.5	96.1	28.2	38
0.25	31.4	17.6	20
Karışım Oranı	15	85	100

Beton Karışım Raporu				
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)
Çimento		95.24	3.15	300.00
Su		120.00	1.00	120.00
Hava		20.00		
Kimyasal Katkı	40	2.61	1.15	3.00
Hava Sürükleyici		0.52	1.15	0.60
Kum		114.24	2.60	297.04
Pomza		647.38	1.30	841.60

Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Kum	3.80	1.00	2.80	8.56	-57.42
Pomza	21.50	30.00	-8.50	-65.97	

Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu		
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Ağırlık (kg)
Çimento		300.00
Su		177.42
Hava		
Kimyasal Katkı	40	3.00
Hava Sürükleyici		0.60
Kum		305.59
Pomza		775.63
Toplam		1562.24

Çizelge 3.13. 1611 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi					
Elekler (mm)	Agregalar			Karışım	
	Perlit	Pomza			
31.5		100		85	
16		100		85	
8		100		85	
4		96.3		82	
2		69.3		59	
1		44.4		38	
0.5		28.2		24	
0.25		17.6		15	
Karışım Oranı	15	85		100	
Beton Karışım Raporu					
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)	
Çimento		95.24	3.15	300.00	
Su		120.00	1.00	120.00	
Hava		5.00			
Kimyasal Katkı	40	2.61	1.15	3.00	
Hava Sürükleyici		0.13	1.15	0.15	
Perlit		116.55	1.02	118.88	
Pomza		660.47	1.30	858.61	
Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Perlit	1.20	37.00	-35.80	-32.78	-100.08
Pomza	21.50	30.00	-8.50	-67.31	
Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu					
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)			Ağırlık (kg)	
Çimento				300.00	
Su				220.08	
Hava					
Kimyasal Katkı	40			3.00	
Hava Sürükleyici				0.60	
Perlit				86.11	
Pomza				791.30	
Toplam				1401.09	

Çizelge 3.14. 1612 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi			
Elekler (mm)	Agregalar		Karışım
	Kum	Eps	
31.5	100		15
16	100		15
8	100		15
4	100		15
2	99.8		15
1	99.7		15
0.5	96.1		14
0.25	31.4		5
Karışım Oranı	15	85	100

Beton Karışım Raporu				
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)

Çimento		95.24	3.15	300.00
Su		120.00	1.00	120.00
Hava		20.00		
Kimyasal Katkı	40	2.61	1.15	3.00
Hava Sürükleyici		0.52	1.15	0.60
Kum		114.24	2.60	297.04
Eps		647.38	0.40	258.95

Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Kum	3.80	1.00	2.80	8.56	8.56
Eps	0.00	0.00	0.00	0.00	

Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu			
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)		Ağırlık (kg)
Çimento			300.00
Su			111.44
Hava			
Kimyasal Katkı	40		3.00
Hava Sürükleyici			0.60
Kum			305.59
Eps			258.95
Toplam			979.59

Çizelge 3.15. 1613 Numaralı Beton Tasarım Formu

Karışıma Giren Malzemelerin Granülometrisi			
Elekler (mm)	Agregalar		Karışım
	Perlit	Pomza	
31.5		100	85
16		100	85
8		100	85
4		96.3	82
2		69.3	59
1		44.4	38
0.5		28.2	24
0.25		17.6	15
Karışım Oranı	15	85	100

Beton Karışım Raporu				
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Hacim (dm ³)	D.Y.K. Özg. Ağ.	Ağırlık (kg)
Çimento		95.24	3.15	300.00
Su		120.00	1.00	120.00
Hava		5.00		
Kimyasal Katkı	40	2.61	1.15	3.00
Hava Sürükleyici		0.13	1.15	0.15
Perlit		116.55	1.02	118.88
Pomza		660.47	1.30	858.61

Agrega Nem Düzeltmesi					
Malzeme Cinsi	Nem (%)	Absorbsiyon (%)	Fark (%)	Fark (kg)	Toplam Fark (kg)
Perlit	1.20	37.00	-35.80	-32.78	-100.08
Pomza	21.50	30.00	-8.50	-67.31	

Düzeltilmiş Beton Karışım Raporu		
Malzeme Cinsi	Su / Çimento Oranı (%)	Ağırlık (kg)
Çimento		300.00
Su		220.08
Hava		
Kimyasal Katkı	40	3.00
Hava Sürükleyici		0.60
Perlit		86.11
Pomza		791.30
Toplam		1401.09

3.2.2. Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi

Numuneler kür havuzunda 20°C' lik su içinde, 7 gün ve 28 gün içme suyunda bekletildi.Şekil 3.10' da kür havuzunda kür edilen bir grup hafif beton numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi

3.2.3. Su Emme Oranı Tayini

Numuneler 105°C' de etüv kurusu ağırlığına gelinceye kadar bekletildi. Numuneler etüv kurusu ağırlığa 24 saatte geldi. Numunelerin kütleleri hassas terazi yardımıyla belirlenip, 20°C' lik suya tüm yüzeyi temas edecek şekilde 24 saat bekletildi. 24 saat suda bekledikten sonra numunelerinin yüzeyi kuru bir bez yardımıyla silinerek tartı işlemi yapıldı. Tartı

sonucunda değerler not edildi. Hesaplanan ağırlıklar, aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu işlemler TS 3526 standardına uyularak yapıldı.

$$\text{Su emme Oranı (\%)} = \frac{(AKYD - AFK)}{(AFK)} \times 100$$

AFK: Etüv kurusu ağırlığı, g

AKYD: Kuru yüzey doygun ağırlığı, g

Su emme oranını belirlemek için 24 saat suda bekletilen numuneler Şekil 3.11' de gözükmektedir.



Şekil 3.11. Su Emme Oranı Tayini İçin 24 Saat Suda Bekletilen Numuneler

3.2.4. Beton Basınç Dayanımı Deneyi

Hafif beton basınç dayanımının tayini TS EN 12390-3 [8]' ye uygun şekilde yapılmış ve kür havuzundan çıkarılan 7 ve 28 günlük 15cmX15cmX15cm boyutlarındaki küp numuneler kurutulduktan sonra yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak şekilde deney makinesinin yükleme başlığı arasına yerleştirilip, numuneler yerleştirilmiştir. Göstergeden okunan en büyük yük kaydedilmiş ve aşağıdaki formülle basınç dayanım değeri hesaplanmıştır vedeneyin yapılışı Şekil 3.12' de gösterilmiştir.

$$\sigma = P / A$$

σ : Basınç dayanımı, MPa

P : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm².



Şekil 3.12. Hafif Beton Basınç Dayanımı Deneyi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Isı yalıtım amaçlı hafif beton üretimine başlamadan önce kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerin tespiti amacıyla kum, pomza ve perlit TS EN 1097-6' ya göre deneye tabi tutularak bu malzemelerin doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları tespit edildi. Sarıyer Yeniköyden temin edilen Yeniköy kumu ve Nevşehirden temin edilen pomzanın doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları Çizelge 4.1.'de nem oranları ise Çizelge 4.2.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan kum ve pomzanın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı

Agrega Türü	D.K.Y. Özgül Ağırlık (Ton/m ³)
Yeniköy Kumu	2.6
Nevşehir Pomzası	1.3

Çizelge 4.2. Kullanılan kumun ve pomzanın nem oranı

Agrega Türü	Nem Oranı (%)
Yeniköy Kumu	3.20-3.80
Nevşehir Pomzası	21.50-25.00

4.1. Hafif Betonun Değerlendirilmesi

Kum ve agregaya yerine belirli oranlarda pomza, perlit, EPS kullanılarak üretilen hafif betonun ısı yalıtımına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada öncelikle deneylerden alınan veriler ile gerekli hesaplamalar yapılmış, ortalama değerler belirlenmiş, bu değerler küre süresine ve karışım yüzdesi değişimine göre değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerden hesaplanan değerler Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Üretilen hafif betonların mekanik deney sonuçları

Beton Kodu	Katkı oranı %	Beton yaşı gün	Basınç Dayanımı N/mm ²
1352 (1)	1.05	7	17.97
1353 (1)	1.40	7	16.67
1353 (2)	1.40	7	16.51
1354 (1)	1.30	7	11.92
1354 (2)	1.30	7	12.55
1355 (1)	1.20	7	7.01
1355 (2)	1.20	7	6.79
1610 (1)	1.20	7	21.5
1610 (2)	1.20	7	21.0
1611 (1)	1.05	7	13.5
1611 (2)	1.05	7	13.8
1612 (1)	1.20	7	5.85
1612 (2)	1.20	7	5.60
1613 (1)	1.05	7	10.5
1613 (2)	1.05	7	10.7

Çizelge 4.4. Üretilen hafif betonların mekanik deney sonuçları

Beton Kodu	Katkı oranı %	Beton yaşı gün	Basınç Dayanımı N/mm ²
1352 (1)	1.05	28	23.80
1352 (2)	1.05	28	25.08
1353 (1)	1.40	28	20.09
1353 (2)	1.40	28	19.84
1354 (1)	1.30	28	15.91
1354 (2)	1.30	28	15.84
1355 (1)	1.20	28	8.95
1355 (2)	1.20	28	9.07
1610 (1)	1.20	28	25.90
1610 (2)	1.20	28	26.10
1611 (1)	1.05	28	16.30
1611 (2)	1.05	28	16.40
1612 (1)	1.20	28	8.60
1612 (2)	1.20	28	8.80
1613 (1)	1.05	28	13.75
1613 (2)	1.05	28	13.65

Çizelge 4.5. Üretilen hafif betonların birim ağırlıkları

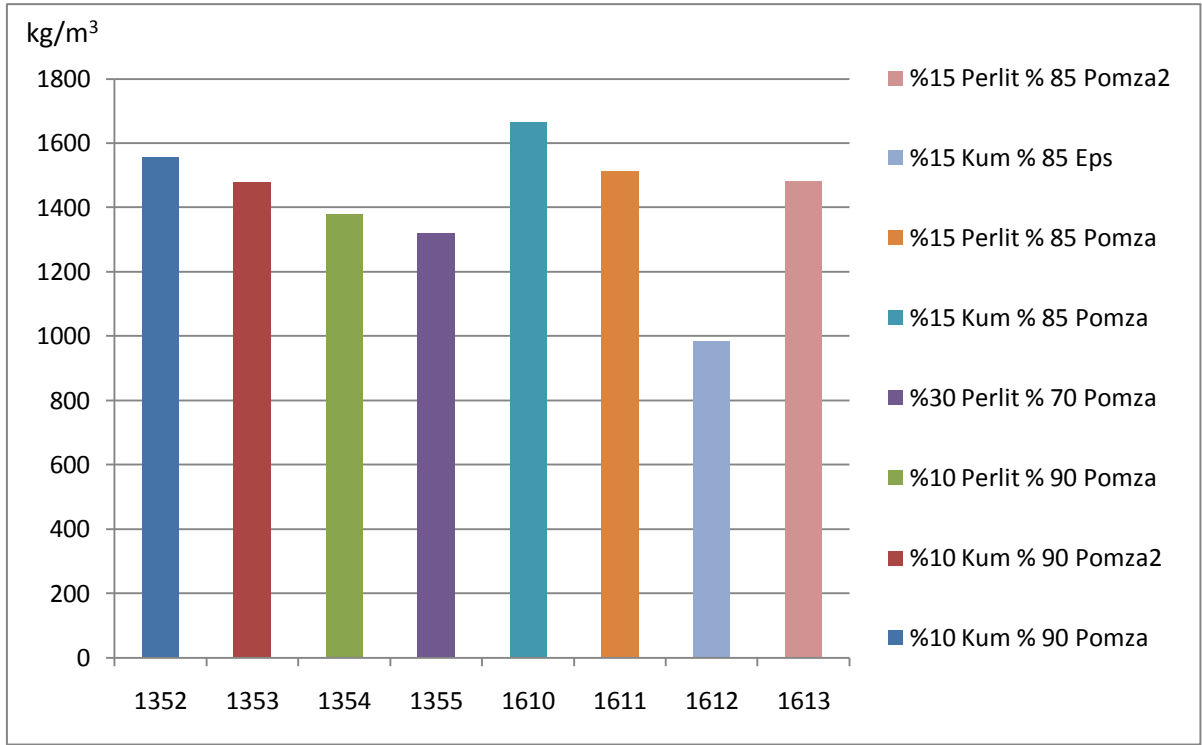
Beton Kodu	Katkı oranı %	Beton yaşı gün	Birim ağırlık kg/m ³
1352	1.05	Taze	1558
1353	1.40	Taze	1478
1354	1.30	Taze	1379
1355	1.20	Taze	1320
1610	1.20	Taze	1664
1611	1.05	Taze	1514
1612	1.20	Taze	985
1613	1.05	Taze	1481

4.1.1. Fiziksel özellikleri

Hafif beton numunelerinde yapılan deneylerden elde edilen birim ağırlık, ses geçiş hızı ve su emme gibi fiziksel özellikler ile ilgili değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

4.1.1.1 Birim ağırlık

Belirli yüzdelerde hafif agregalar karıştırılarak üretilen numunelerin taze birim ağırlıkları küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Beton gruplarında en düşük birim ağırlığa 985 kg/m³ ile %15 kum ve %85 EPS karışımından üretilen 1612 kod numaralı numune iken, 1355 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı 1320 kg/m³, 1354 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı 1379 kg/m³, 1354 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı 1478 kg/m³, 1613 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı 1481 kg/m³, 1611 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı 1514 kg/m³, 1352 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı 1558 kg/m³ ve en yüksek birim ağırlığa ise 1664 kg/m³ % 15 kum ve %85 pomza karışımından üretilen 1610 kod numaralı numune olduğu görülmüştür. Üretilen numunelerin taze birim ağırlıkları küp numuneler üzerinde belirlenmiş Şekil 4.1'de verilmiştir.



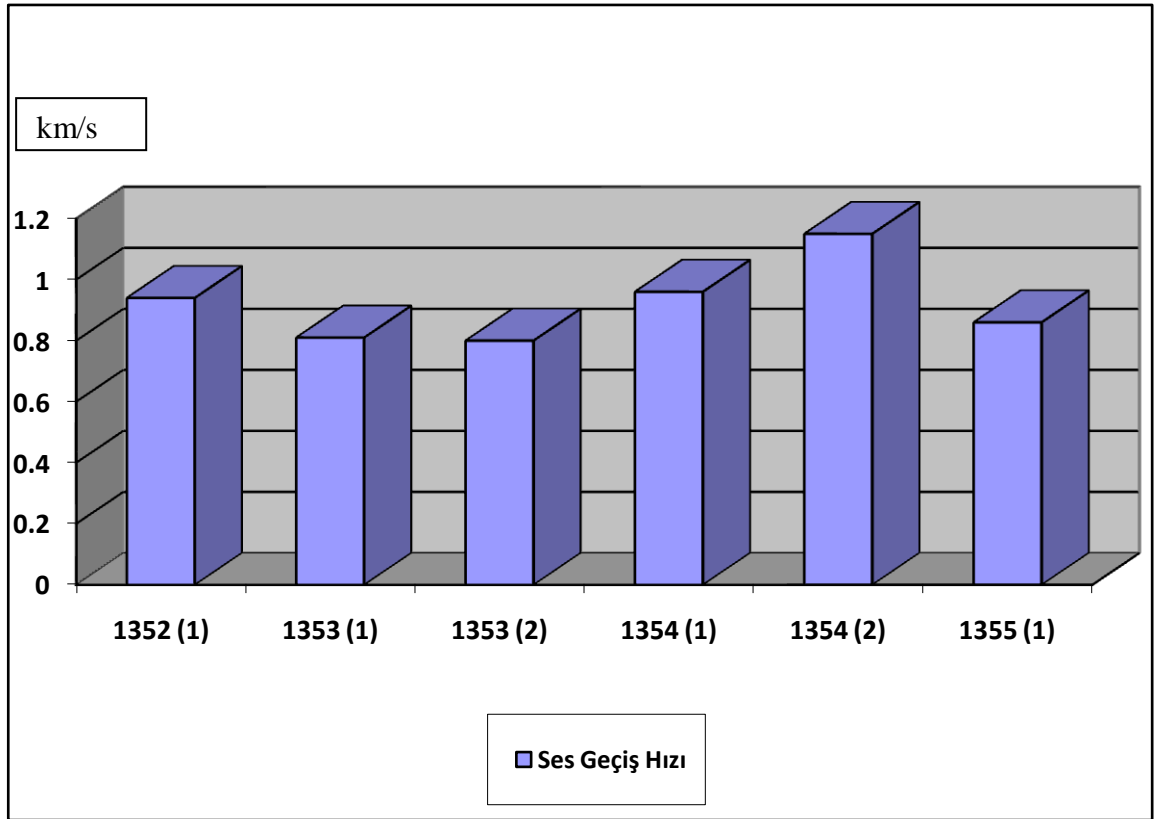
Şekil 4.1. Beton birim ağırlığının karışım oranı ile ilişkisi (Kg/m³)

Betona katılan hafif malzeme oranı arttıkça betonun birim ağırlıklarında bir düşüş gözlenmiştir (Şekil 4.1.). Ayrıca 1612 kod numaralı ısı yalıtım amaçlı hafif betonun birim ağırlığının 1000 kg/m³ sınırının altında olduğu ve yüzen beton olarak adlandırılabilceği söylenebilir. Birim ağırlıklardaki azalma, basınç dayanımı düşüşlerini de beraberinde getirmiştir. Basınç dayanımı sonuçlarına baktığımızda dayanım sonuçların bu düşüşü desteklediği görülmektedir.

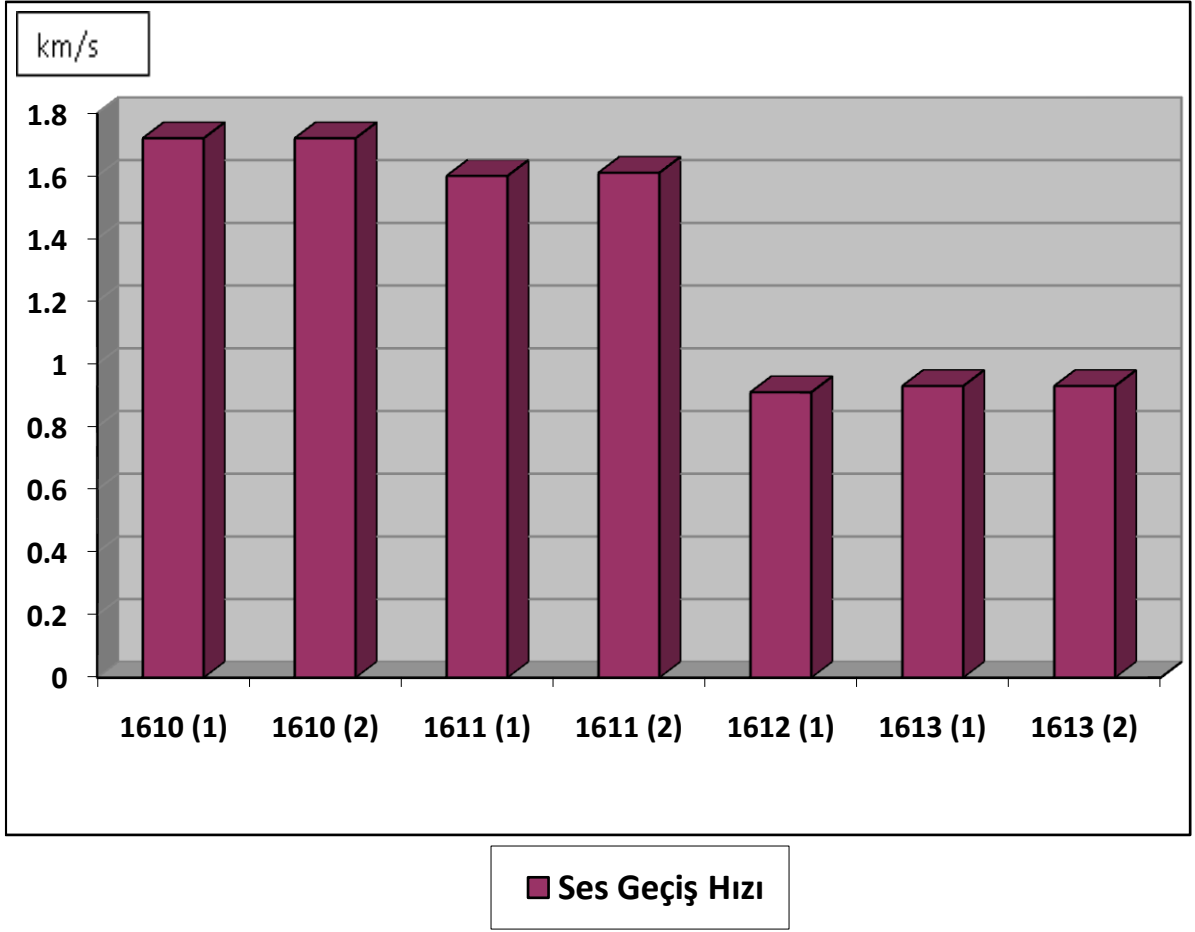
4.1.1.2 Ses Geçiş Hızı

Beton numune içerisinde ilerleyen ses dalgaları beton numunenin karşı yüzeyinden geri alınarak kaydedilmiştir. Böylece ses dalgasının betona gönderildiği yüzey ile geri alındığı yüzey arasındaki mesafeyi ne kadar zaman sürede geçtiği ölçülerek, dalga hızı hesaplanmıştır. 1352 (1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.94 km/s, 1353 (1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.81 km/s, 1353 (2) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.80 km/s, 1354 (1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.96 km/s, 1354 (2) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 1.15 km/s, 1355 (1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.86 km/s, 1610 (1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 1.72 km/s, 1610 (2) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 1.72 km/s, 1611 (1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 1.60 km/s, 1611 (2) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 1.61 km/s, 1612

(1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.91 km/s, 1613 (1) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.93 km/s, 1613 (2) numaralı numunede ölçülen ses geçiş hızı 0.93 km/s olarak okunmuştur. Yukarıdaki ses geçiş hızları değerlendirildiğinde görülecektir ki üretilen hafif betonlardaki ses geçiş hızları normal betona kıyasla daha düşüktür. Ses geçiş hızındaki düşüş betonun boşluk oranından kaynaklanmakta ve boşluk oranı üretilen hafif betonların mukavemetini ve su emme oranlarını etkilemektedir. Beton gruplarına ait ses geçiş hızı değerleri karışım yüzdesine bağlı olarak Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.' de verilmiştir. Herhangi bir beton içerisinden geçen ses dalgasının hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı ve yoğunluğu ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen ses hızları ile beton kalitesi hakkında genel bir fikir sahibi olabilmek mümkündür. Neville'nin belirttiği üzere; ses geçiş hızı 4.5 km/s değerinden daha büyük olan betonlar mükemmel, 3.5-4.5 km/s arasında olan betonlar iyi, 3.0-3.5 km/s arasında olanlar şüpheli, 2.0-3.0 km/s arasında olan betonların kötü ve 2.0 km/s değerinden düşük olanlar ise çok kötü kalitededir (Neville 1990).



Şekil 4.2. Beton numunelerde ses geçiş hızının karışım yüzdesine göre değişimi (km/sn)

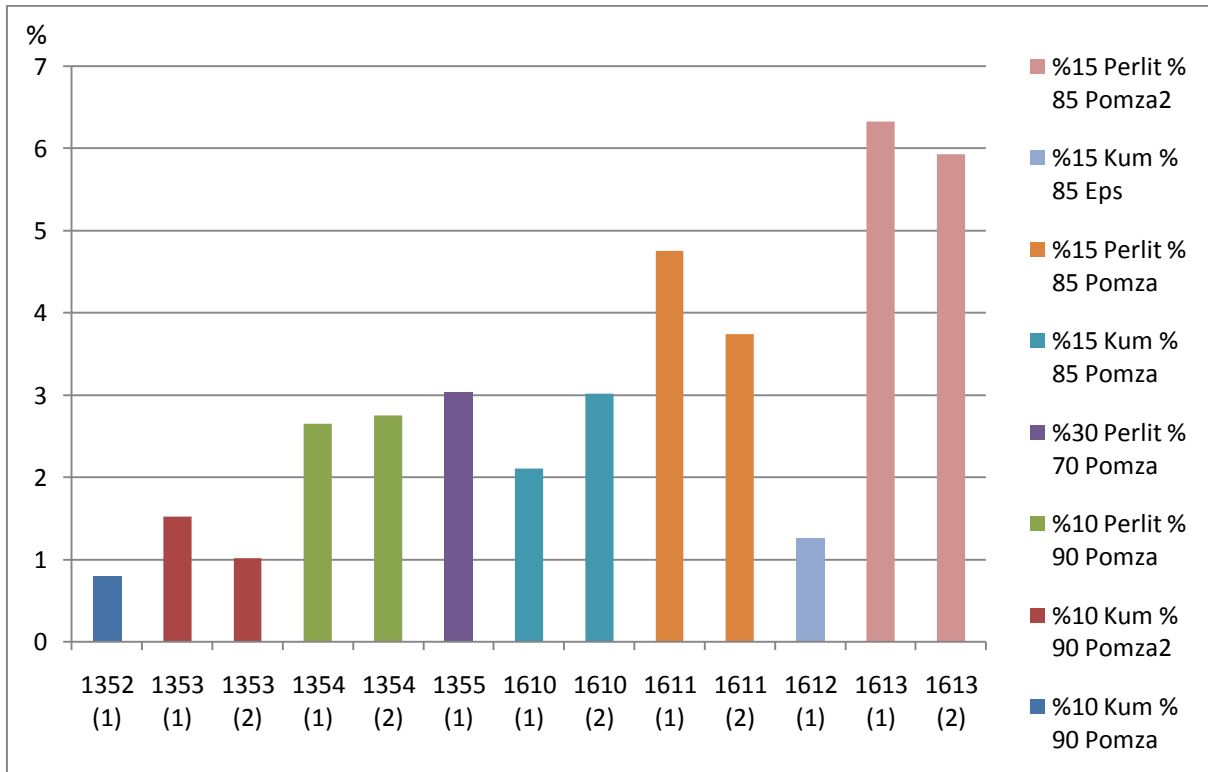


Şekil 4.3. Beton numunelerde ses geçiş hızının karışım yüzdesine göre değişimi (km/s)

Yukarıdaki grafiklerde de görüleceği üzere 1610 (1) ve 1610 (2) kod numarası ile üretilen numunelerin ses geçiş hızı diğer numunelere göre daha yüksek seyretmiştir. Söz konusu numunede %15 oranında kum kullanıldığından ses geçiş hızıyla doğru orantılı olarak birim kütlesi ve dayanımında yükseltilmiştir. 1352 (1), 1353 (1), 1353 (2) kod numaralı numunelerin her ikisinde de %10 kum %90 pomza kullanılmasına rağmen birim kütlelerindeki farklılık beton hacmi içerisine hapsedtikleri hava boşluklarından kaynaklanmakta olup numunelerdeki boşluk oranlarına bağlı olarak aynı oranlarda karışım kullanılarak üretilen hafif betonlarda ses geçiş hızları farklılık göstermiş ve boşluk oranı fazla olan numunede ses geçiş hızı düşük kalmıştır. Birim ağırlığı en düşük olan 1612 (1) kod numaralı numunede ses geçiş hızının düşük kalması beklenirken, minimum ses geçiş hızı 1353 (1) kod numaralı numunede okunmuş ve birim ağırlığın nispeten yüksek ses geçiş hızının ise düşük olması üretimde kullanılan malzemelerin özelliklerinden kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir.

4.1.1.3. Su Emme Oranı

Betonun su geçirirliği, içindeki boşluk oranına bağlıdır. Katı cisim olmalarına rağmen yapı malzemeleri, içyapılarında gözle görülebilen veya görülemeyen boşluklara sahiptirler. Büyüklü küçüklü, sürekli veya süreksiz olabilen bu boşlukların betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkilediği bilinmektedir. Deneyler kapsamında yer alan betonlara ait su emme oranları tayini 28 günlük suda kür edilmiş küp numuneler üzerinde yürütülmüştür. Su emme oranının 1352 (1) numaralı numune için yüzde 0.79, 1353 (1) numaralı numune için yüzde 1.52, 1353 (2) numaralı numune için yüzde 1.02, 1354 (1) numaralı numune için yüzde 2.65, 1354 (2) numaralı numune için yüzde 2.75, 1355 (1) numaralı numune için yüzde 3.03, 1610 (1) numaralı numune için yüzde 2.11, 1610 (2) numaralı numune için yüzde 3.02, 1611 (1) numaralı numune için yüzde 4.75, 1611 (2) numaralı numune için yüzde 3.74, 1612 (1) numaralı numune için yüzde 1.26, 1613 (1) numaralı numune için yüzde 6.33 ve 1613 (2) numaralı numune için yüzde 5.94 arasında değiştii görülmüştür. Karışım yüzdelere göre su emme değerleri Şekil 4.4.' de verilmiştir. Aşağıdaki şekil incelendiğinde su emme oranının % 0.79 ile 6.33 arasında değiştii görülmüştür.



Şekil 4.4. Betonun karışım yüzdesine göre su emme değerleri (%)

Betonların su emme değerleri basınç dayanımları yönünden değerlendirildiğinde; en yüksek su emme değerine sahip numunenin 1613 kod numarası ile üretilen numune olduğu görülecektir. 1613 kod numarası ile üretilen numunenin 7 günlük ortalama basınç dayanımı 10.60 KN/mm², 28 günlük ortalama basınç dayanımı ise 13.60 KN/mm² olduğu görülmektedir. En düşük su emme değeri ise 1352 kod numarası ile üretilen numunede gözlenmiş ve bu numunenin 7 günlük ortalama basınç dayanımı 17.92 KN/mm², 28 günlük ortalama basınç dayanımı ise 23.80 KN/mm² olarak ölçülmüştür. 1610 (1) kod numarası ile üretilen numunenin su emme oranı %2.11, 1610 (2) kod numarası ile üretilen numunenin su emme oranı %3.02 iken, 7 günlük ortalama basınç dayanımı 21.25 KN/mm², 28 günlük ortalama basınç dayanımı 26.10KN/mm² olarak ölçülmüş ve söz konusu numunenin taze beton birim ağırlığı ise 1664 kg/m³ olarak kaydedilmiştir. Görüldüğü üzere su emme oranının kısmen birim ağırlıkla alakalı olsada üretilen betonlarda kullanılan malzeme özellikleri ve oranlarıyla daha yakın bir ilişki içinde olduğu görülmektedir.

4.1.2 Mekanik Özellikleri

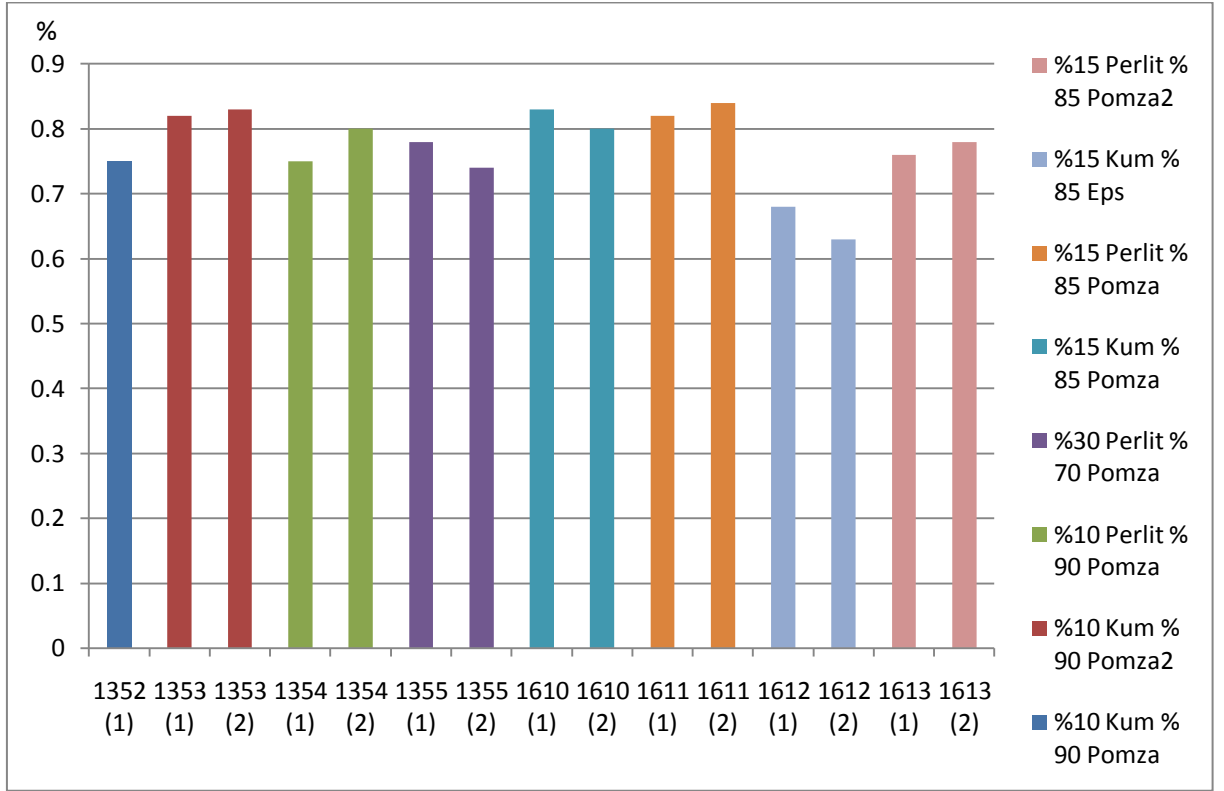
Hafif beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi ile ilgili değerlendirmeler ve bu özelliklerin karışım yüzdeleri ve kür süresi ile değişimi aşağıda açıklanmıştır.

4.1.2.1 Basınç dayanımı

Hafif beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı testlerinde elde edilen veriler değerlendirildiğinde en yüksek basınç dayanımına sahip numunenin 1610 kod numarası ile üretilen numune, en düşük basınç dayanımına sahip numunenin ise 1612 kod numarası ile üretilen numune olduğu görülmektedir. Söz konusu numunelerin karışım yüzdeleri değerlendirildiğinde her iki numunede de % 15 oranında kum kullanılmasına karşın basınç dayanımı yüksek numunede % 85 pomza, basınç dayanımı düşük numunede ise % 85 oranında eps kullanıldığı görülmektedir. kum yüzde oranının yüksek olduğu numunede yüksek bir basınç dayanımı elde edildiği açıktır.

Üretilen hafif beton numunelerinin 7günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, 28 günlük basınç dayanımlarının ortalama % 77 lık kısmına bu süreç içerisinde ulaştığı anlaşılmaktadır. 1612 (2) kod numarası ile üretilen numunenin 28 günlük basınç dayanım oranının % 63' üne 7 günlük süreç içerisinde ulaştığı, % 15 kum % 85 eps kullanılarak

üretildiği ve 1611 (2) kod numarası ile üretilen numunenin 28 günlük basınç dayanım oranının % 84'üne 7 günlük süreç içerisinde ulaştığı, % 15 kum % 85 pomza kullanılarak üretildiği aşağıdaki şekil incelendiğinde görülecektir.



Şekil 4.5. 7 günlük numunenin aldığı dayanım oranı (%)

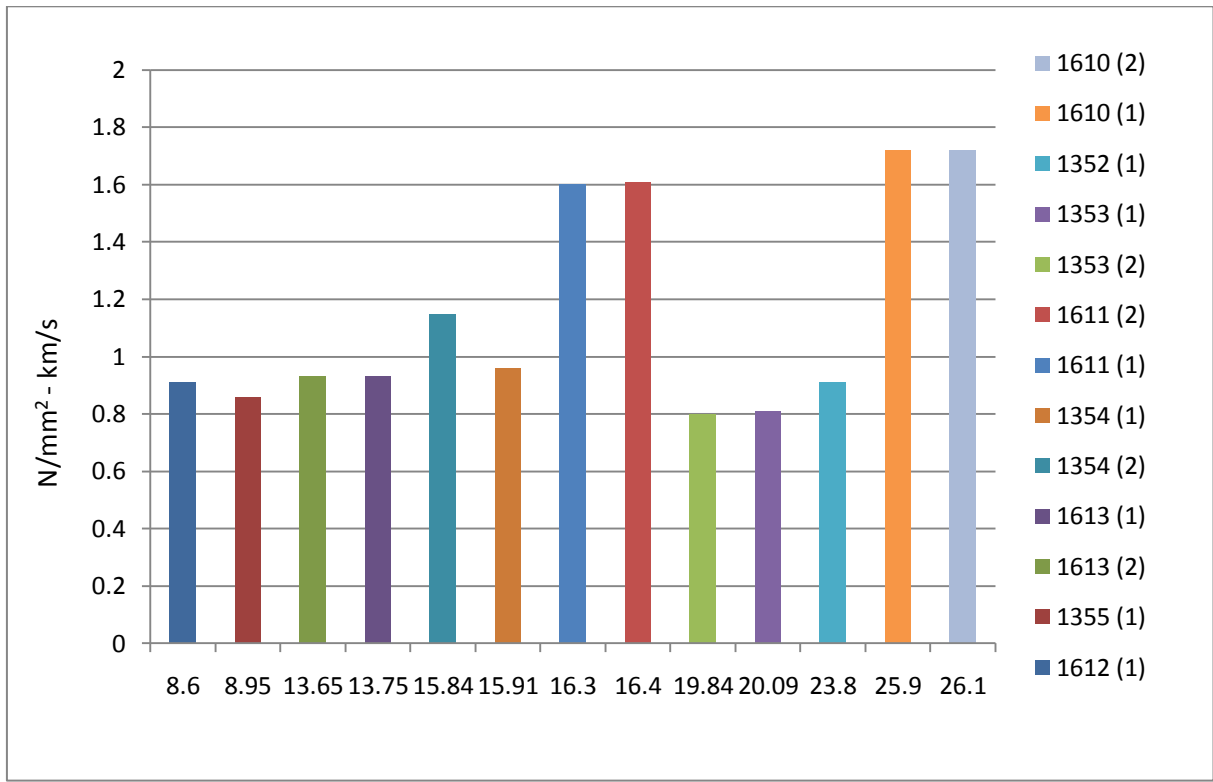
4.1.2.2. Basınç dayanımı ve ses geçiş hızı arasındaki ilişki

Numunelerin basınç dayanımı ile ses geçiş hızı arasında Şekil 4.6'de görüldüğü gibi, ses geçiş hızı ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki mevcut değildir. Nispeten basınç dayanımındaki artışla doğrusal olarak ses geçiş hızında bir artış gözlemlense de bazı numuneler bu doğrusal davranışı bozmaktadır.

Bu doğrusallığı en belirgin biçimde bozan numune 1353 (1) ve 1353 (2) kod numarası ile üretilen numune olduğu aşağıdaki şekilde görülmektedir. Söz konusu numunelerin basınç dayanımlarının nispeten yüksek olmasına karşın ses geçiş hızları düşüktür. Ses geçiş hızındaki düşüşün üretilen numunelerde kullanılan malzemelerden kaynaklandığı açıkça ortadadır. Bu duruma 1353 (1) 1353 (2) kod numarası ile üretilen numunelerde % 90 oranında pomza

kullanılması, malzemenin özgül ağırlığının düşüklüğü ve boşluklu bir yapıya sahip olması neden olmuştur.

Bunun yanında en yüksek basınç dayanımına sahip 1610 (1) 1610 (2) kod numarası ile üretilen numunelerde ise beklendiği üzere en yüksek ses geçiş hızı kaydedilmiştir. Basınç dayanımı ve ses geçiş hızındaki artışın nedeni ise, numunelerde kullanılan malzemelerden özgül ağırlığı yüksek kum oranının artmasına karşılık özgül ağırlığı nispeten düşük pomza oranının azalması ile açıklanabilir.



Şekil 4.6. Beton numunelerde basınç dayanımı-ses geçiş hızı ilişkisi (N/mm²-km/s)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Pomza ve perlit agregaları kullanılarak üretilen hafif betonun değerlendirilmesi, hafif betonun dayanımının, ses geçiş hızının ve su emme oranının araştırıldığı bu çalışmada, beton karışım yüzdelerinin etkilerini görmek için deneyler yapılmış, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1. Aynı oranlarda kum ve pomza kullanılarak üretilen 1352 ile 1353 kod numaraları hafif betonlarda karışım oranları sabit tutulup beton içerisindeki havahacmi artırıldığında artan hava hacmine paralel olarak birim kütlede azalma görülmüştür.
2. Beton tasarım formlarına bakıldığında en yüksek birim ağırlığa %15 kum %85 pomza kullanılarak 1610 kod numarası ile üretilen numunenin, en düşük birim ağırlığa ise %15 kum %85 EPS kullanılarak 1612 kod numarası ile üretilen numunenin sahip olduğu görülmüştür.
3. Hafif beton numunelerinin 7 günlük beton basınç dayanımları değerlendirildiğinde %15 kum %85 pomza kullanılarak 1610 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımında yüksek olduğu, %15 kum %85 EPS kullanılarak 1612 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımında düşük olduğu görülmüştür.
4. Hafif beton numunelerinin 28 günlük beton basınç dayanımları değerlendirildiğinde %15 kum %85 pomza kullanılarak 1610 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımında yüksek olduğu, %15 kum %85 EPS kullanılarak 1612 kod numarası ile üretilen numunenin birim ağırlığı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımında düşük olduğu görülmüştür.
5. Hafif beton numunelerinin 7-28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında ise, %15 perlit %85 pomza kullanılarak 1611 kod numarası ile üretilen numunenin 28 günlük basınç dayanımının ortalama %84' ünü 7 günde aldığı, %15 kum %85 EPS kullanılarak 1612 kod numarası ile üretilen numunenin 28 günlük basınç dayanımının ortalama %63' ünü 7 günde aldığı görülmektedir.
6. Üretilen hafif beton numunelerinin yoğunluk ve ses geçiş hızı arasındaki ilişkiye bakıldığında ise, ses geçiş hızında yoğunlukla doğru orantılı olarak bir değişim gözlemlendiği ancak üretimde kullanılan karışım oranlarına bağlı olarak yüksek basınç dayanımında da düşük ses geçiş hızı gözlemlenmiştir.
7. Elde edilen veriler doğrultusunda hafif betonun az katlı yapılarda, iyi bir akustik özellik sağladığı için ses ve ısı yalıtımında, zemin yalıtımında, yapının zati ağırlığını azalttığından ve taşıyıcı sistemin düğüm noktalarında oluşan kuvvetleri (moment, eksenel

kuvvet, kesme kuvveti) azaltıp taşıyıcı sistem kesit boyutlarını küçülttüğü için inşaatlarda tercih edilmelidir.

8. Yapılan çalışmalar neticesinde çeşitli bulgular elde edilmiş, mekanik ve fiziksel değerlendirmeler yapılmış ancak ekonomik ve teknik yetersizlikler nedeniyle üretilen numunelerin özgül ısı kapasitesi ölçülememiştir. Bu çalışma esas alınarak yapılacak özgül ısı kapasitesi deneyleri ve elde edilecek veriler doğrultusunda, hafif betonun ısısal açıdan durumunun tespiti, sıcak iklimlerde yaz konforu sağlayıp sağlayamayacağına tayini, bölgesel olarak hangi iklim kuşağında daha iyi verim alınabileceği gibi hususlar değerlendirilerek hafif betonun termik açıdan olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya koyulabileceği göz önüne alınabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akçakale H A 2010. Bazaltik pomza ve bims agregalı hafif betonun bazı dayanıklılık karakteristiklerinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.
- Akman S 1987. Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1. Basım.
- Azizi S 2007. Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Beycioğlu A, Başyigit C, Subaşı S, 2008. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı İle Geri Kazanılması Ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması. Çevre Sorunları Sempozyumu. s. 1386-1394, Kocaeli.
- Baradan B 1997. Yapı Malzemesi-II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, s.174–176, İzmir.
- Baradan B, Yazıcı H ve Ün H (2002). Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 298, İzmir
- Bomhard H 1980. Lightweight Concrete Structure, Potentialities, Limits and Realities. The International Journal of Lightweight Concrete, 2 (4): 193-195.
- Can M ve Avcı A 1995. Bursa Bölgesi Konut Duvarlarının Optimum - Isı Yalıtım Kalınlığının Hesabı Ülke Ekonomisi ve Hava Kirliliğine Etkileri. I. Isı -Ses-Su Yalıtımı Sempozyumu, 13 -14 Aralık, İstanbul.
- Çiçek Y E 2002. Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirboğa R 1999. Silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif betonların özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Demirboğa R ve Gül R 2002. The Effects of Expanded Perlite Agregate, Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. Civil Engineering Department Engineering Faculty, Ataturk University, Erzurum.
- Devlet Planlama Teşkilatı 2001. 8. Kalkınma Planı (2001-2005) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Doğan M 1997. Cumaovası perlitinin bazı fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Eren E 2009. Farklı cüruf atıklarının beton üretiminde kullanımı. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Felekoğlu B ve Baradan B 2004. Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri. Beton 2004 kongresi, İstanbul.
- Gokçe S H 2010. Hafif beton üretiminde geliştirilmiş perlitin kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Haque M N, H Al-Khaiata, Kayalı O, 2004. Strength and Durability of Lightweight Concrete. Cement & Concrete Composites. Elsevier Ltd. Number 26: 307-314.
- Hewlett P C 2004. LEA's Chemistry of Cement and Concrete, Butterworth Heinemann, Oxford, England.
- Hızal S 2010. Kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif betonun tasarımı ve durabilite özellikleri. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Hüsem M 1995. Doğu Karadeniz bölgesi doğal hafif agregalardan biriyle yapılan hafif betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocataşkın F 1991. Betonun Dünü Bugünü Yarını. 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası s: 23-42

- Kılınç C (2007). Katkı Dozajı ve Taze Beton Sıcaklığının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Konuk H2003. Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Neville A M 1996. Properties of Concrete. John Wiley&Sons Inc, New York.
- Newman J and Choo B S 2003. Advanced Concrete Technology Constituent Materials, Elsevier Butterworth Heinemann, Oxford, England.
- Özkul ve ark. 2004. Çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini TS EN 197-1' e uygun olarak yapılır.
- Özşahin B 2011. Yalıtım kalıplı donatılı beton duvarlı binaların yapımsal ve ekonomik uygulanabilirliği. Doktora tezi. Trakya Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalı, Edirne.
- Saran G (2007). Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Sarı D ve A G Pasamehmetoğlu, 2005. The Effects of Gradation and Admixture on The Pumice Lightweight Aggregate Concrete. Cement and Concrete Research, Elsevier Ltd. 35: 936-943.
- Sancak E 2005. Silis dumanı katkılı bims betonların özellikleri, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şimsek 1987. Madenşehir (Konya – Karaman) doğusundaki pomzataşının hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şişman C B, Kocaman İ ve Gezer E (2008). Doğal Zeolitten Üretilecek Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 20-25

Topçu T H 2006. Zonguldak – Bartın arasındaki Cangaza bazaltlarının agrega olma özellikleri ve beton üretiminde kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Topçu T H 2007. Zonguldak – Bartın arasındaki Cangaza bazaltlarının agrega olma özellikleri ve beton üretiminde kullanılabilirliği. Yüksek lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türk Standardı Enstitüsü 2003. Beton Agregaları, TS 706 EN 12620, Türk Standartları Enstitüsü, 14 s Ankara.

Türk Standardı Enstitüsü 2006. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, TS EN 1097-6

Türk Standardı Enstitüsü 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TS 802: 1-2 TS EN 1367-1, Türk Standartları Enstitüsü, 14 s Ankara.

Türk Standardı Enstitüsü 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TS EN 12390-3: 1-21.

Ulus İ 1997. Erzincan Mollaköy ham perlit agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uygunoğlu T 2008. Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Silivri' de doğan Mustafa Öztürk; ilk ve ortaöğrenimini 1991-1999 yılları arasında Selimpaşa' da, lise öğrenimini 1999-2003 yılları arasında Selimpaşa Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi' nde tamamladı. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesine girip 2007 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu.

2007 Eylülünde Emlak Konut G.Y.O.A.Ş.' nin Selimpaşa Konutları projesinde yüklenici firma bünyesinde saha mühendisi olarak iş hayatına başlayan Mustafa Öztürk, projenin tamamlanmasına müteakip 2010 yılında Silivri Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Yapı Kontrol Biriminde sözleşmeli teknik eleman olarak göreve başladı ve halen görevini sürdürmektedir.